




Gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar

Rukiye GÜNDOĞAN , Gizem Şevval TOMAR , Aslı CAN KARAÇA 

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, Türkiye

Özet: Nanoenkapsülasyon, aktif bileşenlerin nano ölçekte çeşitli malzemeler içinde tutulması olarak tanımlanır. Nanoenkapsülasyon, mikroenkapsülasyonla kıyaslandığında daha yüksek çözünürlük, biyoyararlılık ve salım özellikleri gibi çeşitli avantajlar sunar. Nanoenkapsülasyon işlemi, biyoaktif bileşiklerin ısı, ışık ve oksijen gibi dış faktörlere karşı hassasiyeti ve düşük çözünürlük özelliği gibi bu bileşiklerin kullanımındaki engelleri ortadan kaldırabilir ve onları dış etkenlerden koruyabilir, bileşiklerin çözünürlüğünü ve stabilitesini geliştirebilir ve vücuttaki hücrelere emilimini artırabilir. Hassas bileşenleri taşıyabilen, koruyabilen ve iletebilen nanoenkapsülasyon sistemlerinin geliştirilmesi için aktif bileşene ve uygulama alanına bağlı olarak çeşitli nanoenkapsülasyon yöntemleri ve taşıyıcılar kullanılabilir. Biyoaktif maddenin nanoenkapsülasyonu için nanoyapılı lipid taşıyıcılar, katı-lipid nanopartiküller, nanoemülsiyonlar, nano ölçekli lipozomlar, nanopartiküller ve nanolifler dahil olmak üzere farklı nanoenkapsülasyon teknikleri kullanılabilir. Yağ asitleri, esansiyel yağlar ve yağda çözünen vitaminler gibi lipofilik yapıdaki bileşenlerin, lipid bazlı nano ölçekli taşıyıcılarda enkapsülasyonu gerçekleştirilebilirken; nanoemülsiyonlar, nanopartiküller ve nanolifler hem hidrofobik hem de hidrofilik bileşenlerin enkapsülasyonu için kullanılabilir. Enkapsülasyon tekniğine ve kullanılan taşıyıcı malzemelere bağlı olarak, enkapsüle edilen bileşiğin enkapsülasyon etkinliği, tutulum oranı, fizikokimyasal özellikleri, salım özellikleri ve biyoyararlılığı değiştirilebilir. Bu derleme, antioksidanlar, çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin yağlar, uçucu yağlar, vitaminler, doğal renklendiriciler ve biyoaktif peptitler dahil olmak üzere çeşitli gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonu hakkında güncel bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nanoenkapsülasyon, gıda bileşenleri, biyoaktifler, nanotaşınım, biyoyararlılık

Recent studies on nanoencapsulation of food ingredients

Abstract: Nanoencapsulation is defined as the entrapment of active ingredients within various materials at the nanoscale range. Nanoencapsulation presents several advantages over microencapsulation such as improved solubility, bioavailability, and release characteristics. The nanoencapsulation process can eliminate the barriers related to the use of bioactive compounds, such as their sensitivity to external factors such as heat, light, and oxygen, and their low solubility, and protect them from external factors, improving the solubility and stability of the compounds, and increasing the absorption of the compounds into the cells in the body. Depending on the active ingredient and application area, various nanoencapsulation methods and carriers can be utilized for the development of nanoencapsulation systems capable of carrying, protecting, and delivering sensitive ingredients. Several different nanoencapsulation techniques including nanostructured lipid carriers, solid-lipid nanoparticles, nanoemulsions, nanoscale liposomes, nanoparticles, and nanofibers can be used for nanoencapsulation of bioactive. Ingredients of lipophilic nature such as fatty acids, essential oils, and fat-soluble vitamins can be encapsulated into lipid-based nano-delivery vehicles whereas nanoemulsions, nanoparticles, and nanofibers can be used for encapsulation of both hydrophobic and hydrophilic ingredients. Depending on the encapsulation technique and carrier materials used, encapsulation efficiency, retention rate, physicochemical properties, release characteristics, and bioavailability of the encapsulated ingredient can be changed. This review presents current information on the nanoencapsulation of various food ingredients including antioxidants, oils rich in polyunsaturated fatty acids, essential oils, vitamins, natural colorants, and bioactive peptides.

Keywords: Nanoencapsulation, food ingredients, bioactives, nano-delivery, bioavailability

Derleme

Yazıya yazarı: Aslı CAN KARAÇA E-mail: cankaraca@itu.edu.tr

Referans: Gündoğan, R., Tomar, G. Ş. & Can Karaça, A. (2023). Gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 1(1) 1-14.

Makale Gönderimi: 1 Mart 2023

Online Kabul: 28 Nisan 2023

Online Basım: 30 Eylül 2023

Enkapsülasyon, çekirdek materyali olarak biyoaktif bileşiklerin, ilaçların, enzim ya da mikroorganizmaların doğal ya da sentetik yapılı bir duvar materyali ile kaplanmasıyla oluşan bir teknolojidir. Enkapsülasyon işlemi nano boyutta gerçekleştirildiğinde mikroenkapsülasyona göre çözünürlüğü ve biyoyararlılığı daha yüksek olan nanomateryaller elde edilmektedir (Koç ve diğ., 2010; Tabarestani ve Jafari, 2019). Nanoenkapsülasyon işleminde taşıyıcı sistemlerin başlıcaları, lipit temelli sistemler (nanoemülsiyon, nanoboyuttaki lipit taşıyıcılar vs), biyopolimer temelli sistemler (karbonhidrat ya da protein bazlı taşıyıcılar) ve doğadan esinlenen sistemlerdir (kazein, siklodoktrin gibi) (Jafari, 2017). Günümüzde tüketiciler tarafından doğal, güvenli ve minimum işlenmiş gıdaya yönelim artmıştır. Bu nedenle, gıda endüstrisi doğal ve/veya biyoaktif maddeleri gıdalara ekleyerek tüketicinin isteklerini karşılamaya çalışmaktadır. Biyoaktif bileşikler, bir ya da daha fazla metabolik prosesi düzenleyen moleküllerdir. Günlük ihtiyacı karşılayacak kadar tüketilmeleri durumunda bazı hastalıkları önlemeleriyle daha sağlıklı bir yaşama katkıda bulunurlar (Guaadaoui ve diğ., 2014). Biyoaktif bileşiklerin antiaterjen, antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal gibi çok çeşitli biyolojik fonksiyonları mevcuttur (Faridi Estefjani ve diğ., 2018). Biyoaktif bileşikler için, gıda sistemlerinde düşük orandaki çözünürlük ve biyoyararlılıkları, kolaylıkla okside olmaları, sindirim süresince devreye giren enzimlerden ve pH değişimlerinden etkilenecek şekilde degrade olmaları gibi kısıtlamalar söz konusudur. Nanoenkapsülasyon işlemi, biyoaktif bileşikler dış etmenlerden korunması, bileşiklerin gıdadaki çözünürlüğünü ve stabilitesini artırması, bileşiklerin vücutta hücrelere absorpsiyonunu artırması sayesinde biyoaktif bileşiklerin kullanımı ile ilgili olan engelleri kaldırabilmektedir (Pateiro ve diğ., 2021). Bu derlemede, antioksidan bileşikler, çoklu doymamış yağ asitlerince zengin yağlar, esansiyel yağlar, vitaminler, doğal renklendiriciler ve biyoaktif peptitler gibi çeşitli gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonu üzerine son yıllarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ele alınacaktır. Çeşitli gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalarda elde edilen bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

2. Antioksidanların Nanoenkapsülasyonu

Antioksidanlar, atmosferik oksijen veya reaktif oksijen türlerinin etkisi altında meydana gelen oksidasyon reaksiyonlarını inhibe edebilen veya geciktirebilen özel bileşiklerdir. Bu biyoaktif bileşiklerin metal radikal üretimini bloke etmek, gen ekspresyonunu ve endojen antioksidan üretimini uyarmak, hasarlı molekülleri onarmak ayrıca çeşitli hastalıkları önlemek gibi birçok işlevi vardır. Bu gibi yararlı özelliklerinden dolayı antioksidan özellik gösteren bileşenlere ilgi giderek artmaktadır. Sentetik antioksidanların sağlık üzerindeki bilinen olumsuz etkileri nedeniyle kullanımları azalırken, doğal antioksidanların kullanımı yaygınlaşmaktadır (Maqsoudlou ve diğ., 2020). Doğal antioksidanlardan olan fenolik bileşikler, bitkiler tarafından üretilen ikincil metabolitlerdir. Bitki tohumlarında, ağaç kabuğunda, yapraklarda ve çiçeklerde bulunurlar. Halihazırda 8000'den fazla fenolik bileşik tanımlanmıştır. Geniş yapısal çeşitlilikleri nedeniyle farklı tiplere ayrılmaktadır. Hepsinin ortak noktası, bir veya daha fazla hidroksil grubuna bağlı en az bir aromatik halkanın varlığıdır. Fenol halkalarının sayısına ve halkaları birbirine bağlayan yapısal elementlere bağlı olarak çeşitlilik meydana gelmektedir. Fenolik bileşiklerin en belirgin özelliği olan antioksidan aktivite ise, özellikle hidroksil gruplarının sayısı ve konumu ile ilişkilidir (Nishimoto-Sauceda ve diğ.,

Antioksidan maddelerin elde edildiği bitki ekstraktları oldukça aktif bileşikler olduklarından oksijen, ışık, yüksek sıcaklık, pH ve çeşitli çevre koşullarına maruz kalmaları nedeniyle fonksiyonel etkilerini kaybedebilirler. Bu yüzden, en yüksek antioksidan aktiviteyi elde etmek için onları korumaya yönelik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Enkapsülasyon, bu sınırlamaların üstesinden gelmek için uygun bir tekniktir. Nanoenkapsülasyonun etkinliği; kullanılan tekniğe, taşıyıcı maddenin seçimine ve antioksidan maddenin özelliklerine bağlıdır (Maqsoudlou ve diğ., 2020). Son yıllarda antioksidan özelliği yüksek çeşitli bitki ekstraktları, özellikle kurkumin ve kateşin gibi maddelerin nanoenkapsülasyonu üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır (Tablo 1).

Feridoni ve Shurmasti (2020) yaptıkları çalışmada, 9 günlük soğuk depolama süresi boyunca tavuk kanadının kalitesini ve raf ömrünü artırmak için hibiskus ekstraktının (*Hibiscus sabdariffa* L.) hem serbest hem de nanoenkapsüle formda antioksidan özelliklerini araştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, karboksimetil selüloz kaplamanın ve hibiskus ekstraktının antioksidan özelliklere sahip olduğunu böylece karboksimetil selüloz ile kaplanan ekstraktın, tavuk kanadının oksidatif bozulma sürecini azalttığını göstermiştir. Jafari ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, ultrasonikasyon yöntemi kullanılarak elde edilen nano ve mikroenkapsüle formda biberiye ekstraktının (*Rosmarinus officinalis* L.) antioksidan potansiyelini ölçmüştür. Biberiye ekstraktı, ayçiçek yağının oksidasyon sürecini yavaşlatmıştır, ancak hem nano hem de mikroenkapsül formlarında yüksek antioksidan özelliklere sahip olmuştur. Nanoenkapsül üretiminin daha yüksek homojenizasyon süresi ve hızı gerektirdiğinden mikroenkapsüle biberiye ekstraktının kullanımı önerilmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada, kırmızı soğan ekstraktının enkapsülasyonu için 1:0, 1:1 ve 0:1 oranlarında *Alyssum homolocarpum* (AH) ve *Lepidium sativum* tohum gamı (LS) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; AH:LS kaplaması kullanılarak nanoenkapsüle edilen kırmızı soğan ekstraktının raf ömrü boyunca sığır etinin fizikokimyasal, mikrobiyal ve duyu özelliklerini korumak ve geliştirmek için kullanılabilmesi bildirilmiştir (Sarvinehbaghi ve diğ., 2021). Ruengdech ve Siripatrawan (2021) tarafından ultrason ile hazırlanmış kateşin nanoemülsiyonları, 28 gün boyunca 4 ± 1 °C'de depolama sırasında farklı çevresel stres koşullarına maruz bırakılmış, ardından kateşinin fiziksel stabilitesi ve antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Farklı iyonik güç (200–600 mmol/L NaCl) ve pH (2–8) koşullarında nanoemülsiyonların fiziksel stabilitesi korunmuştur. Pastörizasyon ve sterilizasyon işlemleri antioksidan aktivitede azalmaya yol açmışken, yüksek basınç uygulamasının herhangi bir etkisi izlenmemiştir. Yüksek basınç uygulanmış, kateşinle zenginleştirilmiş hindistan cevizi sütündeki kateşinlerin stabilitesine nanoemülsiyonun etkisi incelenmiştir. Nanoemülsiyon yapısındaki kateşinin antioksidan aktivitesinin serbest formdaki kateşinden daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Araya-Sibaja ve diğ. (2022) tarafından sığır serum albümini ile hazırlanan lipit hibrit nanopartiküllerde kurkumin, desmetoksikurkumin ve bisdemetoksikurkuminin enkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bileşiklerin serbest formlarının enkapsüle olanlara göre daha düşük antioksidan özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışma, biyoaktif bileşiklerin enkapsülasyonunda taşıyıcı olarak hibrit nanopartiküllerin kullanılabilmesini göstermiştir.

Denatüre peynir altı suyu proteini izolatu bazı nanoaparçacıkların kurkuminin enkapsülasyonunda kullanılması Solghi ve diğ (2020) tarafından yapılan bir

çalışmada incelenmiştir. Kurkuminin enkapsülasyon verimliliği %93,1 olarak bulunmuş ve bu kullanılan enkapsülasyon sisteminin kurkumin moleküllerini hapsedmede etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, kurkuminin nanopartiküller içine enkapsüle edilmesi, kurkuminin oksidasyona karşı stabilitesinin %10'dan %70'e çıkmasını sağlamış ve geliştirilen nanopartiküller, simüle edilmiş gastrointestinal sistemde kurkumin salımını iyileştirmiştir (Solghi ve diğ., 2020).

3. Çoklu Doymamış Yağ Asitlerince Zengin Yağların Nanoenkapsülasyonu

Yağ asitleri yağların en temel yapı taşıdır ve genellikle çift bağ sayısına göre doymuş, tekli veya çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA) olarak ayrılmaktadırlar. Yağ asitleri, zincirlerindeki karbon sayısı ve çift bağların varlığına göre farklılaşmaktadırlar. Metil ucu ve çift bağ arasındaki mesafeye göre omega-9 (oleik asit), omega-6 (linoleik asit ve araşidonik asit gibi) ve omega-3 (linolenik asit, eikozapentaenoik (EPA) asit ve dokozaheksaenoik asit (DHA)) yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Bu yağ asitlerinden omega-3 ve omega-6 yağ asitleri insan vücudu için elzem yağ asitleridir ve insan vücudunda üretilemediklerinden beslenme yoluyla dışarıdan alınmak zorundadırlar. Gıdalarda çoklu doymamış yağ asidince zengin yağlar genellikle bu tür yağ asitlerini barındırırlar (Kaur ve diğ., 2014; Tontul ve diğ., 2017). Hayvansal kaynaklı gıdalardan balık, ÇDYA bakımından en zengin gıda olup; yüksek oranda omega-3 çeşidi olan EPA ve DHA'yı içermektedir. Bitkisel kaynaklı gıdalardan ise sıvı bitkisel yağlar (keten tohumu yağı, ceviz yağı, çiya tohumu yağı gibi) ÇDYA'yı büyük oranda içerirler ve omega-3 yağ asitlerince zengindirler (Çakmakçı ve Kahyaoğlu, 2012).

ÇDYA bakımından zengin yağlar, içeriğindeki yüksek oranda doymamış yağ asitlerinden dolayı oksidasyona açıktırlar. Bu durum, depolama boyunca gıdanın besin değerinde kayıplara ve istenmeyen tat-koku değişimlerine neden olmaktadır. Yağın oksidasyona karşı korunması ile yağ asitlerinin degradasyonunu engellemek mümkündür (Kuznetcova ve diğ., 2020). Ayrıca; lipofilik bileşiklerin bağırsak sıvısındaki düşük çözünürlükleri ve kimyasal olarak degradasyonundan dolayı, ÇDYA bakımından zengin yağların gastrointestinal sistemde biyoyararlılığı düşüktür. Güncel çalışmalarda ÇDYA'ca zengin yağların kompleks gıda matrislerine dahil edilebilmesi amacıyla nanopartikül, nanofiber, nanoemülsiyon gibi taşıyıcı sistemlerin kullanımı incelenmiştir. Bu yöntemlerle, hem yağın oksidasyondan korunması hem de gastrointestinal sistemde kontrollü salımı ve biyoyararlılığının iyileşmesi beklenmektedir (McClements ve diğ., 2021; Rahmani-Manglano ve diğ., 2022). Örneğin, Atay ve Altan (2021)'nin çalışmasında çörek otu yağının zein nanopartikülüne yüklenmesi koaksiyal elektrospreyleme işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Nanopartikül ile enkapsüle edilen yağın 60 °C'de 55 gün depolama süresince peroksit sayısının, enkapsüle edilmeyen formuna göre üç kat daha düşük olduğu belirlenmiştir. Enkapsüle çörek otu yağından antioksidan, antienflamatuvar, antikanserojen gibi biyolojik aktiviteye sahip olan timokinon fenolik bileşiğinin bağırsaktaki biyoyararlılığı serbest formdaki yağa göre artmıştır. Kutlu ve diğ. (2021) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada elektroçirme yöntemiyle nar çekirdeği yağının nanoenkapsülasyonu amacıyla nanomatlar geliştirilmiştir. Nanomat, elektroçirme yöntemiyle elde edilen tabaka şeklindeki nanomalzemelerdir. Nanomat ile kaplanan kaşar peynirinde 20 günlük depolama süresince kontrole kıyasla küf ve maya sayısı artışının daha az olduğu belirlenmiştir. Nanomatla kaplı kaşar peynirinde tiyobarbiturik asit değerleri kontrole göre daha az bulunduğu için nanomatların gıdada

oksidatif stabiliteyi arttırdığı söylenmiştir. Bir diğer çalışmada, keten tohumu yağının doğrudan gıdalla tüketimi ile keten tohumundaki α -linolenik asit (ALA)'in gastrointestinal sistemdeki (GI) bağırsak sindirimi sırasında geri kazanımının düşük olduğu tespit edilmiştir. ALA'nın GI'da kontrollü salımı için, peynir altı suyu tozu/sodyum aljinat varlığında keten tohumu yağıyla su içinde yağ nanoemülsiyonu hazırlanmıştır. Keten tohumu yağından ALA'nın *in-vitro* mide sindirimindeki salımı, oldukça düşük miktarda iken; bağırsakta yüksek hızda gerçekleşmiştir (Abbasi ve diğ., 2018). Öte yandan, Ordoñez Lozada ve diğ. (2021) tarafından üç çeşit kabak çekirdeği yağından elde edilen nanoemülsiyonların ısıtma-soğutma döngüsü sonrasında 4 ve 25 °C'de gerçekleştirilen depolamalarında antioksidan aktivitelerinde farklılıklar izlenmiştir. Kabak çekirdeği yağının çeşidine bakılmaksızın nanoemülsiyonlar, belirlenen depolama sıcaklıklarında fiziksel olarak stabil bulunmuştur.

Yüksek oranda doymuş yağ asidi içeren gıdalar yerine çoklu doymamış yağ asitlerince zengin gıdaların tüketiminin kolesterolde azalma, insülin direncinde iyileşme ve kalp-damar hastalıklarının önlenmesi gibi sağlığa faydalı etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir (Mozaffarian ve diğ., 2010). Bu amaçla gıdalara ÇDYA'ca zengin yağların eklenmesiyle gıdayı doymamış yağ asitlerince zenginleştirerek sağlığa faydalı ürünler elde edilebilmektedir. Moghadam ve diğ. (2019), balık yağı ve akasya gamı içeren yağ içinde su emülsiyonunun sonikasyonu sonrasında dondurarak kurutma işlemiyle nanokapsüller elde etmiştir. Nanokapsüller probiyotik özellikli fermente süte eklendiğinde EPA ve DHA içeriğini artırmanın yanı sıra, *Lactobacillus plantarum*'un canlılığını artırdığı da bildirilmiştir. Yapılan zenginleştirme işlemi ile sütün genel beğeni özelliklerinde bir değişim izlenmemiştir. Ayrıca; nanoenkapsülasyon işlemi su içeriği yüksek olan yağsız gıdalara ÇDYA'ca zengin yağların eklenebilmesi için iyi bir yaklaşım olarak önerilmiştir. Keten tohumu yağı, linolenik asit bakımından zengin bir kaynaktır (Berto ve diğ., 2020) ve Stefani ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çiya tohumu müsajının taşıyıcı malzeme olarak kullanıldığı bir sistemde keten tohumu yağının nanopartikül oluşturulmuş ve elde edilen nanopartiküller portakal suyuna ilave edilmiştir. Keten tohumu yağı içeren nanopartikül eklenmemiş portakal suyu ile nanopartikül eklenmiş olan örnek arasında tüketici kabulü açısından önemli bir fark izlenmemiştir. Bu yöntemle, hidrofobik özellikteki bileşiklerin yüksek su içerikli gıdalarda çözünmesi sağlanmıştır.

4. Esansiyel Yağların Nanoenkapsülasyonu

Esansiyel yağlar, kendilerine has kokularıyla bilinen uçucu, doğal ve kompleks bileşiklerdir ve bitkilerin birçok bölümünden elde edilebilirler (Bakkali ve diğ., 2008). Esansiyel yağın bitkilerden elde edilmesinde su ya da buhar distilasyonu, solvent ekstraksiyonu, süper kritik ekstraksiyon gibi çeşitli yöntemler uygulanabilmektedir (Bassolé ve diğ., 2012). Esansiyel yağların sudaki çözünürlüklerinin düşük olması, ısı, ışık, oksijen varlığı gibi bazı çevresel koşullarda kolaylıkla bozunabilmeleri, bazı ürünlerde istenmeyen tat-koku karakteristiği, yüksek oranda uçuculuğu, sindirim sisteminde hızlıca metabolize olmalarından dolayı düşük biyoyararlılık göstermeleri gibi nedenlerle kullanım alanları kısıtlıdır. Nanoteknolojik yöntemlerden nanoemülsiyon, lipozom ya da polimerik nanotaşıyıcılar (kitosan, pektin nanopartikül), ya da elektroçirme yöntemleri esansiyel yağın enkapsülasyonu için en sık kullanılan yöntemlerdir ve esansiyel yağların sahip olduğu dezavantajların giderilmesinde etkindirler. Kullanılan yöntemin çeşidinin yanında karakteristiği de, esansiyel yağların biyolojik

aktivitesinin taşınım sırasında korunabilmesi açısından önemlidir (Shetta ve diğ., 2018; Almeida ve diğ., 2019; Baptista-Silva ve diğ., 2020). Esansiyel yağlar, bitkilerin korunmasında antibakteriyel özellik göstermesinin yanında antiparazitik, insektisidal, antiviral, antifungal ve antioksidan olarak da tanımlanmaktadır (Ravi Kumar, 2000; Hyldgaard ve diğ., 2012).

Esansiyel yağların vücuda alınımından yaklaşık beş saat sonrasında kanda hiç tespit edilemediği belirlenmiştir. Bu nedenle, esansiyel yağların vücut içinde taşınımı, salımı ve hücrelerdeki biyoyararlılığının en üst düzeyde tutulabilmesi için nanoenkapsülasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir (Horky ve diğ., 2019; Baptista-Silva ve diğ., 2020). Esansiyel yağların nanoenkapsülasyonu ile oluşturulan sistemler sayesinde, esansiyel yağların hedefe afinitesi ve penetrasyonu artmaktadır. Bu durum, esansiyel yağların kan dolaşımında daha uzun süre bozunmadan kalmasında etkili olmaktadır (Ghodratı ve diğ., 2019). Matshetshe ve diğ., (2018) tarafından yapılan çalışmada, iyonik jelasyon tekniği ile tarçın esansiyel yağının kitosan varlığında nanoenkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşan nanopartiküller ile 120 saat civarında *in-vitro* koşullarda sürekli ve kontrollü salım gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu sistem, tarçın esansiyel yağının biyoaktivitesinin korunmasını sağlamıştır.

Gıda ürünlerinin raf ömrü süresince mikrobiyal kalitesinin korunması için gıdayı mikroorganizmalardan korumak ve gelişimlerine engel olmak gerekmektedir. Bu amaçla, endüstride genelde kimyasal koruyucular kullanılmaktadır; ancak bu tür antimikrobiallerin uzun vadede kullanımı sonucu insan sağlığında oluşturabilecekleri olumsuz etkileri nedeniyle doğal antimikrobiyal maddelere olan eğilim son yıllarda artmıştır. Esansiyel yağların doğal ve güçlü antioksidan ve antimikrobiyal ajan özelliğine sahip olduğu, çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Nanoenkapsülasyon yoluyla esansiyel yağların biyolojik aktivitesinin gıdanın raf ömrü boyunca korunması sağlanabilmektedir (Hyldgaard ve diğ., 2012; Noori ve diğ., 2018; Sarabandi ve diğ., 2019). Homayonpour ve diğ. (2022) tarafından gerçekleştirilen güncel bir çalışmada serbest ya da nano-boyuta indirgenmiş kitosanla kaplanan nanoenkapsüle formda kimyon esansiyel yağına içeren yenilebilir ambalajla kaplanan sardalya filetosunun mikrobiyal, kimyasal ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. Enkapsüle formdaki kimyon esansiyel yağının içeren filetolar, serbest formdaki kimyon esansiyel yağına göre duyuşal özellikler ve mikroorganizma gelişimi açısından daha kabul edilebilir bulunmuştur. Kimyon esansiyel yağının nanoenkapsülasyonu, esansiyel yağın difüzyon hızını azaltmış ve bu durum serbest esansiyel yağ göre enkapsüle formun antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesinin daha yüksek olmasını sağlamıştır. Böylece, balık filetosunun raf ömrünün bu kaplamayla birlikte uzadığı bildirilmiştir. Shi ve diğ. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, jelatin ve akasya gamının taşıyıcı malzeme olarak kullanıldığı bir sistemde, kekik yağının kompleks koaservasyon yoluyla nanopartikül elde edilmiştir ve kayıslara uygulanarak depolama süresince fungustatik etkisi değerlendirilmiştir. Nanopartiküllerin varlığında kayısıda fungustatik etkide artma ve çürüme hızında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca; nanopartikül varlığında, kayısıda polifenol oksidaz enzim aktivitesinde azalma olduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise, kekik yağının elektrodegiirme yöntemiyle jelatin/kitosan varlığında nanolife dönüştürülerek enkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kekik yağı içeren nanoliflerde *Clostridium perfringens*'e karşı antimikrobiyal etki gözlemlenmiştir. Nanolifin uygulandığı sosis örnekleri ile nitritli örnekler arasında duyuşal açıdan önemli bir fark izlenmediği için,

kekik yağı içeren nanoliflerin et ürünlerindeki nitrite alternatif olabileceği öne sürülmüştür (Vafania ve diğ., 2019). Mikotoksinler, küfler tarafından gıdanın (tahıl ürünleri, kurutulmuş baharat ve meyveler gibi) üretimi ve depolaması süresince üretilen bileşiklerdir. Aflatoksin, okratoksin, fumonisin gibi birçok çeşidi bulunan mikotoksinlerin, genotoksik, karsinojenik, teratojenik, hepatotoksik ve mutajenik karakteristikleri ile akut ya da kronik toksisiteye neden olabirler (Carballo ve diğ., 2019). Esansiyel yağlar, FDA tarafından "genellikle güvenilir olarak kabul edilen (GRAS)" maddeler grubunda sınıflandırılmış olup, mikotoksin üretimine karşı önemli bir doğal koruyucu madde olduğuna dair çalışmalar mevcuttur. Tarım sektöründe depolanan gıdaların küf ve mikotoksinlerin insan sağlığına son derece zararlı etkilerinin yanında; oksidatif bozunma, tane zararı ve lipit peroksidasyonuna da neden olarak gıdada büyük oranda tahribe neden olmaktadır (Das ve diğ., 2019). Nanoemülsiyonlar, esansiyel yağların enkapsülasyonunda sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir ve ultrason ya da yüksek basınçlı homojenizatör yardımıyla emülsiyonların yağ damlacıklarının boyutunda yapılan azaltma sonrasında elde edilmektedirler. Damlacık boyutunun düşürülmesi, esansiyel yağların çözünürlük ve biyoyararlılık özelliklerini artırmaktadır (McClements ve Rao, 2011). Güncel bir çalışmada yenibahar esansiyel yağı, kitosan nanoemülsiyonu ile enkapsüle edilmiştir (Chaudhari ve diğ., 2022). Nanoenkapsüle formdaki esansiyel yağın düşük dozlarda (1,0 µL/mL) bile *Aspergillus flavus*'un aflatoksin üretme aktivitesine karşı, serbest haldeki esansiyel yağdan daha etkili bulunduğu belirtilmiştir. Mısırın depolanması süresince duyuşal özelliklerde değişiklik olmadan, enkapsüle esansiyel yağın mısır lipit peroksidasyonu ve Aflatoksin B₁'den koruduğu belirtilmiştir (Chaudhari ve diğ., 2022). Bir diğer çalışmada karanfil esansiyel yağının nanoemülsiyon formunun maltlama süresince arpada *Fusarium* gelişimi ve *Fusarium* toksinleri üretimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve deoksinivalenol toksininin ve *Fusarium* gelişiminin azaldığı rapor edilmiştir. Elde edilen son üründe esansiyel yağın ürünün tat-koku özelliklerine etkisi olmadığı bildirilmiştir (Wan ve diğ., 2020).

5. Vitaminlerin Nanoenkapsülasyonu

Vitaminler, insan vücudu tarafından sentezlenemeyen bir grup mikro besin olarak tanımlanır. Bu besinler, biyoaktif bileşiklerdir ve beslenme rollerinin ötesinde sağlık yararları sağlayan fizyolojik olarak aktif bileşenlerdir. Toplam on üç bileşik yağda çözünen (A, D, E ve K) ve suda çözünen vitaminler (B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₇, B₉, B₁₂ ve C) olarak sınıflandırılmaktadır. Vitaminler, metabolik ve hücreşel işlevleri düzenlemek, sağlığı, üremeyi ve büyümeyi teşvik etmek aynı zamanda hastalıkları önlemek için özel işlevleriyle insan yaşamında hayati rol oynamaktadır. Vitaminlerin tüketimi sırasındaki biyoyararlılığı, yapısal değişimler veya düşük absorpsiyon nedeniyle sınırlı olabilmektedir. Ayrıca, sıcaklık, pH, tuz, oksijen ve ışık gibi çevresel stres koşulları nedeniyle gıda işleme ve depolama sırasında vitaminlerin büyük bir kısmı kaybolur. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için nanoenkapsülasyon, umut verici bir yöntemdir. Nanoenkapsüle formdaki mikro besinlerle ilişkili avantajlar, daha yüksek biyoyararlılık, stabilite ve hedef bölgede aktif bileşiklerin kontrollü salımıdır (Melo ve diğ., 2021).

Yararlı özelliklerinin korunması ve kontrollü salımı amacıyla en çok nanoenkapsülasyon uygulanan vitaminlere C, D ve E vitaminleri örnek olarak verilebilir. C vitamini olarak bilinen askorbik asit, önemli bir antioksidan ve gıda bileşenidir. Çevresel koşullara karşı oldukça hassastır. Bu da kozmetik ve farmasötik ürünlere dahil edilmesini zorlaştırır.

Tablo 1. Gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar.
Table 1. Recent studies on nanoencapsulation of food ingredients.

Bileşen	Nanoenkapsülasyon Metodu	En Önemli Bulgular	Kaynak
Yaban mersini (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Nanoemülsiyon	Kitosan kullanılarak kaplanan yaban mersinlerinin antioksidan özelliği artmıştır.	Franco ve diğ., 2021
<i>Eryngium campestre</i> L., <i>Froriepia subpinnata</i> , <i>Mentha spicata</i> L.	Nanoemülsiyon	Yapılan araştırma sonucunda %8.5 maltodekstrin, %1.5 kitosan ile enkapsülasyon, ekstraktların antioksidan etkinliğini arttırmak için etkili formülasyon olmuştur.	Azizkhanian ve Sudanloo, 2022
<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Elektrospreyleme	Zein kullanılarak oluşturulan nanoenkapsüller, homojen morfolojiye sahip ve termal olarak stabil bulunmuştur.	González-Cruz ve diğ., 2022
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Nanofilm	Karboksümetil selüloz ile kaplanan bileşenler, tavuk kanatlarının oksidatif bozulma sürecini yavaşlatmış ve raf ömrünü arttırmıştır.	Feridoni ve Shurmasti, 2020
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Ultrasonikasyon	Ekstrakt konsantrasyonunun artmasıyla antioksidan aktivitenin de arttığı görülmüştür.	Jafari ve diğ., 2022
<i>Lpomoea batatas</i>	Nanoemülsiyon	Hazırlanan nanoenkapsüller, bitkisel atıkların katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.	Guerrero-León ve diğ., 2021
<i>Allium cepa</i> , L.	Nanoemülsiyon	Nanoenkapsüle edilen kırmızı soğan özü, sığır etinde yüksek antioksidan özellik göstermiştir.	Sarvnehbaghi ve diğ., 2021
Siyah havuç antosiyanini	İyonotropik jelasyon	Nanoenkapsülasyon işlemi, antosiyaninlerin antioksidan aktivitesini geliştirmiştir.	Chatterjee ve diğ., 2021
Kateşin	Nanoemülsiyon	Nanoenkapsüle formdaki kateşinlerin, gıda ürünlerinde kullanımı için büyük bir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir.	Ruengdech ve Siripatrawan, 2021
Pirina özütü	Nanoemülsiyon	Pirina ekstresi, roka tohumu ve çiya tohumu gamında enkapsüle edilmiştir.	Akçiçek ve diğ., 2021
<i>Punica granatum</i> L.	Nanoemülsiyon	Kalsiyum aljinat nanoküre içine enkapsüle edilmiş <i>Punica granatum</i> L.'nin özellikle uzun süreli depolama sırasında tavuk etinin raf ömrünü arttırmıştır.	Rahnemoon ve diğ., 2021
<i>Ferula persica</i> ekstraktı	Nanoemülsiyon	Enkapsüle formdaki <i>Ferula persica</i> ekstraktı, serbest formdaki <i>Ferula persica</i> ekstraktı ile karşılaştırıldığında, soya fasulyesi yağının antioksidan etkinliğini arttırmıştır.	Estakhr ve diğ., 2020
<i>Mentha piperita</i>	Nanoemülsiyon	Kaplama maddesi olarak kitosanın kullanımı antioksidan aktivitenin korunmasında etkili olmuştur.	Royshanspour ve diğ., 2020
Üzüm ve elma posasından elde edilen toplam polifenol	Nanoemülsiyon	Kaplama maddesi olarak kitosan ve soya proteini değerlendirilmiştir. Soya proteini yüksek enkapsülasyon verimliliği göstermiştir.	Gaber ve diğ., 2020
Kurkuminoid	Nanoemülsiyon	Üç ana kurkuminoid; kurkumin, desmetoksikurkumin ve bisdesmetoksikurkumin enkapsüle edilerek antioksidan özellikleri değerlendirilmiştir. Serbest kurkuminoidler önemli ölçüde daha düşük antioksidan özellik göstermiştir.	Araya-Sibaja ve diğ., 2022
Kurkumin	Nanoemülsiyon	Kurkuminin nanopartiküller içine enkapsüle edilmesi, kurkuminin oksidasyon kararlılığının %10'dan %70'e çıkarmıştır. Ayrıca geliştirilen nanopartiküller, simüle edilmiş gastrointestinal kanalda kurkumin salımını iyileştirmiştir.	Solghi ve diğ., 2020
B ₉ ve B ₁₂ Vitamini	Nanoemülsiyon	B ₉ ve B ₁₂ vitaminlerinin, nanoenkapsülasyon yoluyla biyoyararlılığı artmıştır. Her iki vitamin için de yüksek enkapsülasyon verimliliği (B ₉ vitamini için %89 ve B ₁₂ vitamini için %71) elde edilmiştir.	Ramallo ve diğ., 2021
E Vitamini	Nano çökeltme	Mikroalg <i>Chlorella homosphaera</i> 'dan ekstrakte edilen yağ ve E vitamini birlikte enkapsüle edilmiştir. Nanoenkapsüller, ortalama partikül çapı, polidispersiyon indeksi, zeta potansiyeli ve pH gibi parametrelerde kabul edilebilir sonuçlar göstermiştir.	Fonseca ve diğ., 2022
D ₃ Vitamini	Nanoemülsiyon	Enkapsülenenmiş D ₃ vitamininin, süt ürünlerinin zenginleştirilmesinde kullanılmasına yönelik yararlı sonuçlar elde edilmiştir.	Sharifan ve diğ., 2021
D ₃ Vitamini	Nano çökeltme	Vitamin D ₃ , zein ile nanoenkapsüle edilmiştir. Zein nanoparçacıkları, gıda işleme ve gastrointestinal koşullara maruz kaldığında Vitamin D ₃ 'ün vücutta kalma süresini uzatmak için umut verici bir yaklaşımdır.	Noronha ve diğ., 2021
A Vitamini	Nanoemülsiyon	Nanoenkapsüle A vitamini, gastrointestinal sindirimi simüle eden <i>in-vitro</i> deneyler sonucunda, nanopartiküllerin midede değişmediğini ve toksisite göstermediğini kanıtlamıştır.	Resende ve diğ., 2020
E Vitamini	Nanofilm	Karboksümetil selüloz filmlerine nanoenkapsüle E vitamini eklenerek filmlerin fiziksel özellikleri iyileştirilmiş ve ortam sıcaklığında depolanan lipidler veya yağlar içeren gıda maddelerinin korunumunda kullanılması önerilmiştir.	Mirzaei-Mohkam ve diğ., 2020
D ₃ Vitamini	Süperkritik karbon dioksit ile	D ₃ vitamini, süperkritik karbon dioksit kullanılarak β-glukan matrisine enkapsüle edilmiştir. Nanoenkapsüle formdaki D ₃ vitamini, β-glukan matrisine yüklenen, konsantrasyona bağlı bir şekilde, artan antioksidan ve antikanserijen özelliklere sahip kontrollü bir salım davranışı göstermiştir.	Gani ve diğ., 2021

Tablo 1. Gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar (devamı).
 Table 1. Recent studies on nanoencapsulation of food ingredients (continue).

Bileşen	Nanoenkapsülasyon Metodu	En Önemli Bulgular	Kaynak
C Vitamini	Nanolipozom	Farklı oranlarda süt fosfolipidleri, kolesterol, fitosteroller ve farklı sonikasyon süreleri, C vitamininin enkapsülasyonu için değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kolesterolün kampesterol ile değiştirilmesinin, nanolipozomlarda enkapsülasyon etkinliği, kontrollü salımı ve C vitamini stabilitesi üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir.	Amiri ve diğ., 2019
E Vitamini	Nanoemülsiyon	E vitamini, faz değiştiren malzeme ile enkapsüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, E vitamininin (α - tokoferol) nanoenkapsülasyonu için kullanılan yöntemin yüksek verimliliğini göstermiştir.	Mohammadi ve diğ., 2020
Antosiyanin	Kendi kendine bir araya gelme	Antosiyanin, C ₆ M ₁ adlı on sekiz amino asitten oluşan bir amfilik peptit kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Sonuçlar; C ₆ M ₁ 'nin, antosiyaninin pH artışına, metalik iyonlara ve sıcak sıcaklığa karşı toleransını geliştirdiğini göstermiştir.	Yao ve diğ., 2021
Antosiyanin	Desolvasyon	Antosiyanin (AC) yüklü β -Lg nanoparçacıkları üretilmiştir. Bu parçacıklar, yüksek antosiyanin tutma oranı, tercih edilen partikül boyutu ve yüksek enkapsülasyon verimliliği sergilemiştir.	Salah ve diğ., 2020
Antosiyanin	Kendi kendine bir araya gelme	Böğürtlenlerden (<i>Rubus spp.</i>) antosiyaninle zenginleştirilmiş ekstraktların enkapsülasyonu için pektin ve lizozim kullanılmıştır. Bu yöntem, gıda katkı maddelerinin üretilmesi veya gıdaların biyoaktif bileşiklerle zenginleştirilmesi için alternatif bir yol olmuştur.	Rosales ve diğ., 2021
Karatenoid	Nanoemülsiyon ve Dondurarak Kurutma	Kırmızı dolmalık biber özütü dört farklı kaplama malzemesi ile enkapsüle edilmiştir. Tüm formülasyonlar ve seçilen teknik, doğal gıda pigmentleri olarak uygulanma potansiyellerini göstermiştir.	Petito ve diğ., 2022
Antosiyanin ve betalain	Nanofilm	Yoğurt benzeri fermente soya ürününün renklendirilmesi için doğal antosiyanin ve betanin enkapsüle edilmiştir. En iyi sonuç, enkapsüle formdaki kırmızıturp özütünün yoğurda verdiği pembe renk olmuştur.	Dias ve diğ., 2020
Karotenoid	Kristalizasyon	Karotenoidlerin sakaroz ile birlikte kristalleştirilmesi, DPPH serbest radikallerine karşı %77.58'lik enkapsülasyon verimliliği göstermiştir. Kristalizasyon, karotenoidlerin genel stabilitesini önemli ölçüde iyileştirmiştir.	Kaur ve diğ., 2020
β -Karoten	Püskürtmeli Kurutma ve Elektrospreyleme	β -Karoten zein ile mikro ve nano boyutlarda enkapsüle edilmiştir. Nanoenkapsüller, düşük parçacık boyutu ve daha büyük yüzey alanı nedeniyle mikro kapsüllere kıyasla daha iyi çözünme davranışı göstermiştir.	Mahalakshmi ve diğ., 2020
Kazein türevi peptitler	Elektroejirme	Kazein türevi peptitlerin nanoenkapsülasyon verimi 72,95–86,04% olarak bulunmuştur. Gastrointestinal sistemde sindirimden 8 saat sonra 75,3% oranda nanofiberlerden peptit salımı izlenmiştir. Peptit yüklü nanolifler, sütün zenginleştirilmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.	Devaraju ve diğ., 2021
Kinoadan elde edilen peptitler	Nanolipozom	Enkapsüle kinoa peptit lipozomlarının hamburger köftesine eklenmesi ile kontrole göre buzdolabında depolama süresince toplam bakteri yükü, <i>S. aureus</i> , küf ve maya sayısının daha az arttığı izlenerek, bu lipozomların antimikrobiyal aktivitesi gösterilmiştir.	Yekta ve diğ., 2020
Keten tohumundan elde edilen peptitler	Nanolipozom	Nanolipozomların stabilitesi ve enkapsülasyon etkinliğinin sıcaklık, donma-çözünme stresi, <i>in-vitro</i> koşullar gibi etkenlerden etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, nanolipozomların, peptitlerin antioksidan özelliğinin yüksek oranda korunmasında etkili olduğu belirlenmiştir.	Sarabandi ve Jafari, 2020
Karidesten elde edilen peptitler	Nanolipozom	Lipozomla enkapsüle edilen karidesten elde edilen peptitlerin 7 gün, 4°C'de depolama süresince yüksek stabilite göstermiştir.	Latorres ve diğ., 2021
<i>Spirulina</i> hidrolizatı	Nanolipozom	Antioksidan aktivite korunmuştur.	Mohammadi ve diğ., 2021
Cevizden elde edilen peptitler	Nanolipozom	<i>Escherichia coli</i> ve <i>Staphylococcus aureus</i> 'a karşı antibakteriyel aktivite göstermiş ve bağırsaktaki sindirimde stabil kalmıştır.	Wang ve diğ., 2022
<i>Spirulina</i> hidrolizatı	Nanoemülsiyon	Antioksidan aktivite korunmuştur.	Costa ve diğ., 2021
Yulaftan elde edilen peptitler	Katı lipid nanopartikülü	Enkapsüle peptitler gastrointestinal sıvıdaki hidroliz reaksiyonundan korunarak, yüksek biyoaktivite göstermişlerdir.	Su ve diğ., 2020
Koyun peynir altı suyundan elde edilen peptitler	Nanolipozom	Peptitlerin antioksidan ve ACE-1 inhibitör aktiviteleri 30 günlük depolama süresince stabil kalmıştır.	Corrêa ve diğ., 2019
Sentetik antimikrobiyal peptit	Nanopartikül	Biyouyumlu polimer olan polilaktik glikolik asit (PLGA)'den solvent difüzyon yöntemiyle elde edilen nanopartikülle peptit enkapsüle edilmiştir. Peptidin <i>E. coli</i> O157:H72'ye karşı gösterdiği antimikrobiyal etki korunmuştur.	Gómez-Sequeda ve diğ., 2020

Tablo 1. Gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar (devamı).
 Table 1. Recent studies on nanoencapsulation of food ingredients (continue).

Bileşen	Nanoenkapsülasyon Metodu	En Önemli Bulgular	Kaynak
Kenevir esansiyel yağı	Yosun proteini nanopartikülü	Esansiyel yağın antioksidan aktivitesinin stabilitesini iyileştirmek için yosun proteini nanopartikülü önemli bir kaynak olarak belirlenmiştir.	Hadidi ve diğ., 2022
Yenibahar esansiyel yağı	İyonik jelleşme tekniğiyle hazırlanan kitosan nanoemülsiyonu	Esansiyel yağın kitosan nanoemülsiyonunda enkapsülasyonu ile <i>Aspergillus flavus</i> 'a karşı yüksek antifungal ve anti-aflatoksijenik etki göstermiştir.	Chaudhari ve diğ., 2022
Karanfil esansiyel yağı	Nanoemülsiyon	Maltlama süresince deoksinivalenol ve Fusarium gelişimi azalmıştır.	Wan ve diğ., 2020
Kekik esansiyel yağı	Kompleks koaservasyon metodu ile nanokapsül oluşturma	Kekik esansiyel yağı nanokapsülü yüksek ısı stabilite, düşük salım özelliği, yüksek fungustatik etkili bulunmuştur.	Shi ve diğ., 2021
Kakule esansiyel yağı	Nanolipozom	Nanoenkapsülasyon işlemi kakule esansiyel yağının antimikrobiyal ve antioksidan aktivitesinin korunmasını sağlamıştır.	Nahr ve diğ., 2019
Kimyon esansiyel yağı	Nanolipozom	Kimyon esansiyel yağının nanolipozomla enkapsülasyonu ile yağın antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi artmış ve duyuşal özellikleri esansiyel yağın serbest formuna göre daha iyi bulunmuştur.	Homayonpour ve diğ., 2021
Biberiye esansiyel yağı	Nanolipozom	Enkapsülasyon ile esansiyel yağların kontrollü salımı gerçekleştirilmiştir.	Chen ve diğ., 2019
Yasemin çiçeği esansiyel yağı	Pektin/kitosan nanopartikülü	Nanoenkapsülasyon ile yasemin çiçeği esansiyel yağının antikanser aktivitesinde artış izlenmiştir.	Attallah ve diğ., 2020
Maydonoz esansiyel yağı	Nanoemülsiyon	Kitosan nanoemülsiyonu ile enkapsüle maydonoz yağı uygulanan depolanmış çiya tohumlarının lipit peroksidasyonu ve aflotoksin B-1 gelişimine karşı etkili bulunduğu belirtilmiştir.	Deepika ve diğ., 2022
Kekik esansiyel yağı	Elektroegirme	Kekik esansiyel yağının enkapsülasyonu ile elde edilen nanofiberlerin <i>Clostridium perfringens</i> 'e karşı bakterisidal etkisi izlenmiştir. Böylece, bu nanofiberin et ürünlerinde nitrit yerine kullanılabilmesi belirtilmiştir.	Vafania ve diğ., 2019
Tarçın esansiyel yağı	Nanopartikül	<i>In-vitro</i> koşullarda 120 saat boyunca kontrollü ve yavaş esansiyel yağ salımı izlenmiştir.	Matshetshe ve diğ., 2018
Nar çekirdeği yağı	Elektroegirme	Elektroegirme yöntemiyle nar çekirdeği yağının enkapsülasyonu sonrası elde edilen nanomatlarla kaplanan gıdada maya ve küf gelişimi azalmış ve oksidatif stabilite artmıştır.	Kutlu ve diğ., 2021
Çörek otu yağı	Koaksiyel elektrospreyleme	Zein nanopartikülü ile enkapsüle edilen çörek otu yağında oksidatif stabilitede artış izlenmiştir.	Atay ve Altan, 2021
Keten tohumu yağı	Nanopartikül	Çiya tohumu müsilağı ile enkapsüle edilen keten tohumu yağının su içeriği yüksek ürünlerde çözünmesi sağlanmıştır. Elde edilen nanopartikül ile yağın <i>in-vitro</i> sindirim sonrası biyoyararlılığı da artmıştır.	Stefani ve diğ., 2018
Badem ve susam yağı	Nanomülsiyon	Badem ve susam yağının nanoemülsiyonları yoğurda zenginleştirme amacıyla eklenmiştir. Susam yağı nanoemülsiyonu eklenen ürün, duyuşal ve tekstürel özellikler açısından daha çok tercih edilmiştir.	Heydari Gharehcheshmeh ve diğ., 2020
Keten tohumu yağı	Nanomülsiyon	Keten tohumu yağı ve peynir altı suyu tozu proteini/sodyum aljinat varlığında ultrason yardımıyla hazırlanan nanoemülsiyonun <i>in-vitro</i> sindirimde α -linolenik asit (ALA)'ın biyoyararlılığının arttığı belirlenmiştir.	Abbasi ve diğ., 2018
Karides yağı	Nanolipozom	Karides yağının nanolipozom yapısında enkapsülasyonu, yağın oksidasyona karşı korunmasında ve istenmeyen balık kokusunun bastırılmasında etkili bulunmuştur.	Gulzar ve Banjakul, 2019
Balık yağı	Nanopartikül	Balık yağı içeren emülsiyonun dondurarak kurutulmasıyla elde edilen nanopartikülün, probiyotik fermente süte eklenmesi ile EPA ve DHA'ca zengin, yüksek oranda canlı probiyotik içeren bir ürün elde edilmiştir.	Moghadam ve diğ., 2019
Palm yağı	Nanopartikül	Palm yağı ve kazein/akasya gamının taşıyıcı malzeme olarak kullanıldığı nanopartiküller sarı renkte olup, yüksek antioksidan aktiviteye sahip bulunmuştur. Bu sebeple, gıda maddelerinde doğal renklendirici ve antioksidan olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir.	Ribeiro ve diğ., 2022
Aspir yağı	Nanopartikül	Nanoenkapsülasyonla aspir yağındaki antioksidan bileşiklerin korunduğu izlenmiştir.	Almeida ve diğ., 2021

D vitamini en çok kas-iskelet sağlığının korunmasındaki önemi ile bilinir. Ayrıca, artan cilt kanseri riskinden dolayı en önemli D vitamini kaynağı olan güneş ışığına uzun süre maruz kalınması önerilmez ve bu da D vitamini takviyesini gerekli kılar. E vitamininin ise, iyi bilinen antioksidan özelliklerinin ötesinde çok çeşitli terapötik etkilere sahiptir. Bununla birlikte, E vitamininin, özellikle tokotrienollerin zayıf biyoyararlılığı, klinik uygulamalar için büyük bir sınırlama olmaya devam etmektedir (Sharifan ve diğ., 2021).

Ramalho ve diğ. (2021) yapmış oldukları araştırmada, B₉ ve B₁₂ vitaminlerinin poli(laktik-ko-glikolik asit) ile nanoenkapsülasyonu üzerine çalışmıştır. Simüle edilmiş sindirim çalışmaları, geliştirilen nanopartiküllerin; enkapsüle edilmiş vitamin içeriğini koruyabildiğini, dolayısıyla gastrointestinal ortama karşı koruma sağladığını göstermiştir. B₉ ve B₁₂ vitamininin nanoenkapsülasyonu, vitaminlerin özelliklerini geliştirmiştir. Fonseca ve diğ. (2022) ise, mikroalg *Chlorella homosphaera*'dan ekstrakte edilen yağı, E vitamini ile birlikte nanoenkapsüle etmeyi amaçlamışlardır. Nanoenkapsüller, üretilen formülasyon için beklenen sınırlar içinde; ortalama partikül çapı, polidispersiyon indeksi, zeta potansiyeli ve pH gibi kabul edilebilir sonuçlar göstermiştir. Ayrıca nanoenkapsüller gerçekleştirilen testlerde sitotoksite göstermemiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada, D₃ vitamini, fizikokimyasal stabilitesini ve kullanılabilirliğini geliştirmek için zein polimerik matrisinde nanoenkapsüle edilmiştir. Nanoenkapsüller, 200 nm'den küçük parçacık boyutu ile yüksek enkapsülasyon verimi göstermiştir. Zein nanoparçacıkları, gıda işleme ve gastrointestinal koşullara maruz kaldığında Vitamin D₃'ün vücutta kalma süresini uzatmak için umut verici bir yaklaşımdır (Noronha ve diğ., 2021). A vitamini içeren lipid nanoparçacıklarını geliştirmeyi amaçlayan bir diğer çalışmada, hazırlanan nanoenkapsüle formdaki A vitamini; oda sıcaklığında, sulu süspansiyonda bir aya kadar saklandığında ilk özelliklerini korumada ve 15 dakikalık süreler boyunca 70 °C'ye kadar ısıtılarda ve çeşitli gıda ürünleri koşullarını simüle eden farklı ortamlarda stabil kalmıştır. Gastrointestinal sindirimi simüle eden *in-vitro* deneyler, nanopartiküllerin midede değişmediğini göstermiştir (Resende ve diğ., 2020). Amiri ve diğ. (2019) yapmış oldukları çalışmada ise süt fosfolipidi, kolesterol ve fitosterol dozlarının farklı oranlarını (sırasıyla % 50-100, % 0-50 ve % 0-50) ve çeşitli sonikasyon sürelerinin (20, 25, 30, 35 ve 40 dk) C vitamininin enkapsülasyonu amacıyla oluşturulacak yeni bir nanolipozom formülasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, sonikasyon süresinin uzatılmasının ve fosfolipid/fitosterol oranındaki azalmanın nanolipozomların partikül boyutunu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Vitamin C'nin 20 gün süresince en yüksek stabilitesi fosfolipid/fitosterol 'ün 75-25 oranında elde edilmiştir. Ayrıca, kolesterolün fitosterol yerine kullanılması, nanolipozomlarda enkapsülasyon etkinliği ve C vitamini stabilitesi üzerinde olumlu bir etki göstermiştir.

6. Doğal Renklendiricilerin Nanoenkapsülasyonu

Pigmentler ve boyalar, ürünlerin renk ve görünümünün homojenliğini ve stabilitesini artırıcı olarak gıda endüstrisinde önemli bir rol oynamaktadır. Yiyeceklerin rengi, ürünün tazeliği ve kalitesiyle ilişkili olduğundan, herhangi bir gıda maddesi satın alınırken en kritik unsurlardan biri olarak kabul edilir. Bir gıda ürününün renk özelliklerini geliştirmek için sentetik ve doğal renklendiriciler kullanılmaktadır. Endüstride en yaygın olarak kullanılan renklendiriciler, sudaki yüksek çözünürlükleri ve çoklu uyarılara karşı kimyasal stabiliteilerinin yüksek olması nedeniyle sentetik

renklendiricilerdir. Ancak, sentetik gıda renklendiricileri, uzun vadeli olumsuz sağlık etkilerine neden olabileceği gerekçesiyle tüketiciler tarafından tercih edilmemektedir. Bu nedenle, doğal renklendiriciler son zamanlarda dikkat çekmektedir (Rushikesh ve diğ., 2022). Doğal pigmentler, hayvan ve bitki dokularından elde edilen renklendirici maddelerdir. Bu pigmentler, bitkilere çeşitli özellikler kazandıran ikincil metabolitlerdir. Doğal pigmentler yenilenebilir kaynaklardır, kolayca bulunur ve toksik değildir. Ancak, düşük konsantrasyonlarda bulunma, yüksek maliyet, düşük biyoyararlılık, kullanım zorluğu gibi dezavantajlara da sahiptir. Ayrıca sıcaklık, ışık, oksijen, pH gibi etkilere karşı oldukça duyarlıdır. Doğal pigmentlerin stabilitesini korumak için gereken en önemli koşullar; ortamda oksijen ve ışığın olmaması ve daha düşük sıcaklık aralığıdır. Son zamanlarda, gıda endüstrisinde stabilizeyi sağlamak ve doğal pigmentlerin kullanımını artırmak için "nanoenkapsülasyon" yöntemi büyük ilgi görmektedir (Bahandari ve diğ., 2022). Meyveler ve sebzelerden ekstrakte edilen doğal pigmentler; sarı-turuncu renkleri gösteren karotenler ve ksantofiller olmak üzere iki alt kategoride sınıflandırılan karotenoidler, yeşil renkli klorofiller, kırmızı-mor renkli antosiyaninler ve kırmızı-sarı renkli betalainler dahil olmak üzere dört gruba ayrılırlar (Bahandari ve diğ., 2022; Rushikesh ve diğ., 2022).

Rosales ve diğ. (2021) yapmış oldukları çalışmada, kimyasal kararsızlık nedeniyle antosiyaninlerin teknolojik kullanımındaki sınırlamaların üstesinden gelmek için nanenkapsülasyon işlemini değerlendirmiştir. Bunun için, böğürtlenlerden (*Rubus spp.*) antosiyaninle zenginleştirilmiş ekstraktları, pektin ve lizozim ile kendiliğinden bir araya gelecek bağ oluşturma ("self-assembly") yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Nanoenkapsülasyon için kullanılan bu yöntem, gıdaların biyoaktif bileşimlerle zenginleştirilmesi ve gıda katkı maddelerinin geliştirilmesi için umut veren bir yöntemdir. Petitto ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada ise, karotenoidler açısından zengin kırmızı dolmalık biber özütünün dört farklı kaplama malzemesi ile enkapsüle ederek en etkili materyali bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, kalsiyum kazeinat, sığır jelatini, peynir altı suyu proteinleri izolatu ve konsantresi kullanılmıştır. Nanoenkapsülasyon işlemi, su içinde yağ emülsiyonu oluşturma tekniği ve ardından dondurarak kurutma ile gerçekleştirilmiştir. Karotenoidlerin tüm formülasyonlarda başarılı bir şekilde enkapsüle edildiği bildirilmiştir. Nanoformülasyonlar sırasıyla %54,0, %57,6, %56,6, %64,0 karotenoid enkapsülasyon verimliliği göstermiştir. Hazırlanan tüm formülasyonlar heterojen bir dağılım profili sergilemiştir. Ayrıca 48 saat boyunca yoğun bir renk ve sedimantasyona karşı görece stabilize sunmuştur. Yapılan bir diğer çalışmada, gliserol ile zein matrisinde β -karotenin enkapsülasyonu amaçlanmıştır. β -Karoten, sırasıyla püskürtmeli kurutma ve elektrospreyleme teknikleri ile mikro ve nano boyutlarda farklı çekirdek-duvar oranları (1:10, 1:50 ve 1:100) ile enkapsüle edilmiştir. Sonuçlar, elektrospreyleme tekniği ile %81'e kadar enkapsülasyon verimliliği göstermiştir. Nanoenkapsüller, büyük yüzey alanı nedeniyle mikroenkapsüllere kıyasla daha iyi çözünme davranışı göstermiştir. Test edilen üç oran arasında, 1:50'deki nanoenkapsüller ile en iyi sonuç olan ~%73 enkapsülasyon verimliliği en iyi sonuç elde edilmiştir (Mahalakshmi ve diğ., 2020).

7. Biyoaktif Peptitlerin Nanoenkapsülasyonu

Biyoaktif peptitler, protein hidrolizi sonucunda elde edilen iki veya daha fazla amino asitten oluşan vücut fonksiyonlarına etki ederek sağlığa olumlu etkileri olan spesifik protein parçaları olarak tanımlanmaktadır. Biyoaktif peptitlerin biyolojik aktiviteleri, amino asit dizilimi ve kompozisyonuna dayandırılmaktadır (Korhonen ve Pihlanto, 2006). Biyoaktif

peptitlerin, protein hidrolizi süresince açığa çıkan hidrofobik amino asit kalıntıları nedeniyle oluşan bitter tadını maskelenmek; depolama stabiliteilerinin ve dokusal özelliklerinin iyileştirilmesi için higroskopik özelliğini azaltmak; *in-vitro* koşullarda biyoyararlılığı ve stabilitesini artırmak; sıcaklık, tuz konsantrasyonu, pH gibi proses koşullarına karşı dayanıklılığını artırmak gibi birçok sebeple enkapsülasyonu gerçekleştirilmektedir (Mohan ve diğ., 2015). Peptitlerin antioksidan (İbrahim ve diğ., 2018), antimikrobiyal, immunomodülatör (Bravo ve diğ., 2013), antikanserojen (Çakır ve Tunalı-Akbay, 2021), antihipertansif (Aydemir ve diğ., 2022) gibi çeşitli biyolojik aktiviteleri yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

Nanoenkapsülasyonun en önemli amaçlarından biri enkapsülasyon sonrasında ve depolama süresince peptitlerin biyoaktivitesini korumaktır (Akbarbaglu ve diğ., 2019). Mohammadi ve diğ. (2021)'nin yaptıkları çalışmada, kolesterol ve γ -orizanolün stabilizör olarak kullanıldığı bir sistemde, *Spirulina* hidrolizatları kitosanla kaplı nanolipozomla enkapsüle edilmiştir. Peptitle bağlı γ -orizanolün stabilizör olduğu lipozom yapısında, peptidin başlangıçtaki antioksidan kapasitesinin %90 oranında korunduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, taşıyıcı olarak sukroz, trehaloz ve mannitol kullanılarak hazırlanmış olan prolipozomlarla cevizden elde edilen peptitler enkapsüle edilmiştir. Peptit yüklü prolipozomlarda antioksidan kapasitesi başlangıca göre değişmemiştir. Bunun dışında, sindirim süresince prolipozomlar, enkapsüle olmayan peptitlere göre daha stabil bulunmuştur (Wang ve diğ., 2022). Biyoaktif peptitlerin depolama süresince çevre koşullarından etkilenmemesi beklenmektedir. Ancak; Sarabandi ve Jafari (2020) keten tohumundan elde edilen peptitlerin nanolipozom ile enkapsülasyonu sonrasında nanolipozomların enkapsülasyon etkinliği, stabilitesi ve fiziksel özelliklerinin donma-erime stresi ve depo sıcaklığından olumsuz biçimde etkilendiğini bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise, koyun peynir altı suyu, proteinaz ile hidrolize edildiğinde antioksidan ve anjiyotensin dönüştürücü enzim I (ACE-I) inhibitörü özelliği göstermiş ve elde edilen peptitler fosfatidilkolin lipozomlarıyla enkapsüle edilmiştir. Elde edilen lipozom yapının 30 gün boyunca fizikokimyasal özelliklerinde değişim izlenmemiştir. Peptitlerin antioksidan ve ACE-1 inhibitör aktiviteleri bu süre boyunca stabil olarak kalmıştır (Corrêa ve diğ., 2019).

Nanolipozomlar antimikrobiyal özellikteki peptitlerin enkapsülasyonunda yaygın olarak kullanılan bir sistem olup, peptitlerin antimikrobiyal potansiyelini artırmaktadır. Yekta ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, kinoadan elde edilen peptitler nanolipozomla enkapsüle edildikten sonra hamburgerde eklenmiş ve 12 gün buzdolabı sıcaklığında depolama sonrası hamburgerdeki değişimler incelenmiştir. Depolama süresince enkapsüle peptit içeren lipozomların eklendiği burgerlerde toplam bakteri yükü, *Staphylococcus aureus*, küf ve maya sayısının lipozom içermeyen örneklerle göre daha az arttığı gösterilmiştir. Peptitlerin gastrointestinal sistemdeki enzimlerle degradasyonu nedeniyle, sindirim sistemindeki biyoyararlılığı düşüktür. Katı lipit nanopartikülü; trigliserit, yağ asitleri, steroid ve vaks bileşenlerini içeren koloidal bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Peptitlerin biyoyararlılığını artırabilmek için Su ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada katı lipit nanopartikülü ile gastrointestinal sistemde peptitlerin taşınması incelenmiştir. Çalışmada yulaf globulininden elde edilen düşük ve yüksek moleküler ağırlıklı peptitler, poloksamer 188 ve gliseril monosterat kullanılarak hazırlanan katı lipit nanopartikülü ile enkapsüle edilmiştir. Enkapsüle edilen peptitlerin gastrointestinal sıvıdaki degradasyonu ve salım hızları farklı olmasına rağmen; her ikisi de ikincil hidroliz reaksiyonundan

korunarak, yüksek biyoaktivite hızı göstermişlerdir. Nanoemülsiyonlar bileşiklerin enkapsülasyonu amacıyla kullanıldıklarında, uzun süre stabiliteilerini koruyabilmeleri ve bileşiklerin biyoyararlılıklarını artırmaları sebebiyle güncel araştırmalara konu olmuştur (Bai ve diğ., 2016). *Spirulina* sp. LEB18'den ekstrakte edilen lipitlerin kullanımı ile hazırlanan nanoemülsiyona, aynı örnekten elde edilen peptitler eklenmiştir. Oluşan nanoemülsiyon yapısında antioksidan aktivitenin depolama süresince korunduğu ve *Spirulina*'dan elde edilen lipitlerin emülsiyona doğal yüzey aktif ajan olarak etki ettiği bildirilmiştir (Costa ve diğ., 2019).

8. Sonuç

Nanoenkapsülasyon işlemi, biyoaktif bileşikleri dış etkenlerden koruma, çözünürlük ve farklı ortam koşullarındaki stabiliteilerini iyileştirme ve biyoyararlılıklarını iyileştirme gibi avantajlar sunmaktadır. Enkapsüle edilecek biyoaktif bileşene ve uygulama alanına bağlı olarak, istenen özelliklerde nanoenkapsülasyon sistemlerinin geliştirilmesi için farklı yöntemler ve taşıyıcı malzemelerin kullanımı mümkündür. Antioksidanlar, çoklu doymamış yağ asitlerince zengin yağlar, esansiyel yağlar, vitaminler, doğal renklendiriciler ve biyoaktif peptitler gibi çeşitli gıda bileşenlerinin nanoenkapsülasyonuna yönelik güncel çalışmalar irdelendiğinde, enkapsülasyonda kullanılan metodun, çalışma parametrelerinin ve taşıyıcı malzemelerin elde edilen ürünün çözünürlük, stabilite, biyoyararlılık ve salım özellikleri gibi karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

9. Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

10. Kaynaklar

- Abbasi, F., Samadi, F., Jafari, S. M., Ramezanzpour, S. & Shargh, M. S. (2018). Ultrasound-assisted preparation of flaxseed oil nanoemulsions coated with alginate-whey protein for targeted delivery of Omega-3 fatty acids into the lower sections of gastrointestinal tract to enrich broiler meat. *Ultrasonics Sonochemistry*, 50, 208-217.
- Akbarbaglu, Z., Mahdi Jafari, S., Sarabandi, K., Mohammadi, M., Khakbaz Heshmati, M. & Pezeshki, A. (2019). Influence of spray drying encapsulation on the retention of antioxidant properties and microstructure of flaxseed protein hydrolysates. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 178, 421-429.
- Akçecek, A., Bozkurt, F., Akgül, C. & Karasu, S. (2021). Encapsulation of olive pomace extract in rocket seed gum and chia seed gum nanoparticles: Characterization, antioxidant activity and oxidative stability. *Foods*, 10, 1735.
- Almeida K. B, Ramos A.S. & Nunes J. B. B. (2019). PLGA nanoparticles optimized by Box-Behnken for efficient encapsulation of therapeutic Cymbopogon citratus essential oil. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 181, 935-42.
- Almeida, O. P., de Freitas Marques, M. B., de Oliveira, J. P., da Costa, J. M. G., Rodrigues, A. P., Yoshida, M. I., Mussel, W.N. & Carneiro, G. (2021). Encapsulation of safflower oil in nanostructured lipid carriers for food application. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 805-814.

- Amiri, S., Rezazadeh-Bari, M. & Alizadeh-Khaledabad, M. (2019). New formulation of Vitamin C encapsulation by nanoliposomes: Production and evaluation of particle size, stability and control release. *Food Science and Biotechnology*, 28, 423-432.
- Araya-Sibaja, A. M., Wilhelm-Romero, K., Quirós-Fallas, M. I., Huertas, L. F. V., Vega-Baudrit, J. R. & Navarro-Hoyos, M. (2022). Bovine serum albumin-based nanoparticles: Preparation, characterization, and antioxidant activity enhancement of three main curcuminoids from *Curcuma longa*. *Molecules*, 27, 2758.
- Atay, E. & Altan, A. (2021). Nanoencapsulation of black seed oil by coaxial electrospraying: characterisation, oxidative stability and in vitro gastrointestinal digestion. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4526-4539.
- Attallah, O. A., Shetta, A., Elshishiny, F. & Mamdouh, W. (2020). Essential oil loaded pectin/chitosan nanoparticles preparation and optimization via Box–Behnken design against MCF-7 breast cancer cell lines. *RSC Advances*, 10(15), 8703-8708.
- Aydemir, L.Y., Diblan, S., Aktaş, H. & Cakitli, G. (2022). Changes in bioactive properties of dry bean extracts during enzymatic hydrolysis and in-vitro digestion steps. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 3682-3698.
- Azizkhani, M. & Sudanloo, A. (2020). Antioxidant activity of *Eryngium Campestre* L., *Froiepia Subpinnata*, and *Mentha Spicata* L. polyphenolic extracts nanocapsulated in chitosan and maltodextrin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15120.
- Bai, L., Huan, S., Gu, J. & McClements, D. J. (2016). Fabrication of oil-in-water 377 nanoemulsions by dual-channel microfluidization using natural emulsifiers: Saponins, phospholipids, proteins, and polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 61, 703-711.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Baptista-Silva, S., Borges, S. & Ramos, O. L. (2020). The progress of essential oils as potential therapeutic agents: a review. *Journal of Essential Oil Research*, 32, 279-95.
- Bassolé, I. H. N. & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 7, 3989-4006.
- Berto, B. M., Garcia, R. K. A., Fernandes, G. D., Barrera-Arellano, D. & Pereira, G. G. (2020). Linseed oil: Characterization and study of its oxidative degradation, *Grasas y Aceites*, 71(1), 337.
- Bhandari, M., Sharma, R., Sharma, S., Bobade, H. & Singh, B. (2022). Recent advances in nanoencapsulation of natural pigments: Emerging technologies, stability, therapeutic properties and potential food applications. *Pigment & Resin Technology*, ISSN: 0369-9420.
- Bravo, R. K. D., Angelia, M., Uy, L., Garcia, R. & Torio, M. (2013). Isolation, purification and characterization of the antibacterial, antihypertensive and antioxidative properties of the bioactive peptides in the purified and proteolyzed major storage protein of pigeon pea (*Cajanus cajan*) seeds. *Diet, Immunity and Inflammation*, 232, 313-340.
- Carballo, D., Tolosa, J., Ferrer, E. & Berrada, H. (2019). Dietary exposure assessment to mycotoxins through total diet studies. A review. *Food and Chemical Toxicology*, 128, 8-20.
- Chatterjee, N. S., Dara, P. K., Raman, S. P., Vijayan, D. K., Sadasivam, J., Mathew, S., Ravishankara, C. N. & Anandan, R. (2021). Nanoencapsulation in low-molecular-weight chitosan improves in vivo antioxidant potential of black carrot anthocyanin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5264-5271.
- Chaudhari, A.K., Singh V.K., Das, S., Deepika & Dubey, N. K. (2022). Fabrication, characterization, and bioactivity assessment of chitosan nanoemulsion containing all spice essential oil to mitigate *Aspergillus flavus* contamination and aflatoxin B1 production in maize. *Food Chemistry*, 372, 131221.
- Chen, X., Long, Q., Zhu, L., Lu, L.-X., Sun, L.-N., Pan, L. & Yao, W.-R. (2019). A double-switch temperature-sensitive controlled release antioxidant film embedded with lyophilized nanoliposomes encapsulating rosemary essential oils for solid food. *Materials*, 12(23), 4011.
- Corrêa, A. P. F., Bertolini, D., Lopes, N. A., Veras, F. F., Gregory, G. & Brandelli, A. (2019). Characterization of nanoliposomes containing bioactive peptides obtained from sheep whey hydrolysates. *LWT*, 101, 107-112.
- Costa, A. M., Lütkemeyer Bueno, K. T., Centeno da Rosa, A. P. & Vieira Costa, J. A. (2019). The antioxidant activity of nanoemulsions based on lipids and peptides from *Spirulina* sp. LEB18. *LWT*, 99, 173-178.
- Çakır, B. & Tunalı-Akbay, T. (2021). Potential anticarcinogenic effect of goat milk-derived bioactive peptides on HCT-116 human colorectal carcinoma cell line. *Analytical Biochemistry*, 622, 114166.
- Çakmakçı, S. & Tahmas-Kahyaoğlu, D. (2012). Yağ asitlerinin sağlık ve beslenme üzerine etkilerine genel bir bakış. *Akademik Gıda*, 10(1), 103-113.
- Das, S., Singh, V. K., Dwivedy, A. K., Chaudhari, A. K., Upadhyay, N., Singh, A., Deepika. & Dubey, N. K. (2019). Fabrication, characterization and practical efficacy of *Myristica fragrans* essential oil nanoemulsion delivery system against postharvest biodeterioration. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 110000.
- Deepika, Chaudhari, A. K., Singh, A., Das, S. & Dubey, N. K. (2021). Nanoencapsulated *Petroselinum crispum* essential oil: Characterization and practical efficacy against fungal and aflatoxin contamination of stored chia seeds. *Food Bioscience*, 42, 101117.
- Devaraju, R., Pushpadass, R. D., Emerald, H. A., Padaki, F. M. E. & Nath, B. S. (2021). Nanoencapsulation of casein-derived peptides within electrospun nanofibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1684-1698.

- Dias, S., Castanheira, E. M. S., Fortes, A. S., Pereira, D. M. & Gonçalves, M. S. T. (2020). Natural pigments of anthocyanin and betalain for coloring soy-based yogurt alternative. *Foods*, 9(6), 771.
- Estakhr, P., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., Alaei, S. & Khaneghah, A. M. (2020). Incorporation of the nanoencapsulated polyphenolic extract of *Ferula Persica* into soybean oil: Assessment of oil oxidative stability. *Food Science & Nutrition*, 8(6), 2817-2826.
- Faridi Estanjani, A., Assadpour, E. & Jafari, S. M. (2018). Improving the bioavailability of phenolic compounds by loading them within lipid-based nanocarriers. *Trends in Food Science and Technology*, 76, 56-66.
- Feridoni, S. B. & Shurmasti, D. K. (2020). Effect of the nanoencapsulated sour tea (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract with carboxymethylcellulose on quality and shelf life of chicken nugget. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3704-3715.
- Fonseca, E. S. P., Filho, W. P. S., Vaucher, R. A., Souza, D., Sagrillo, M. R. & Fernandes, L. S. (2022). Microalgae oil and vitamin E: from nanostructuring to safety profile. *Disciplinarum Scientia*, 23(2), 19-38.
- Food and Drug Administration. (2022). CFR – Code of Federal Regulations Title 21. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=182.20>
- Franco, J. G., Cefali, L. C., Ataide, J. A., Santini, A., Souto, E. B. & Mazzola, P. G. (2021). Effect of nanoencapsulation of blueberry (*Vaccinium myrtillus*): A green source of flavonoids with antioxidant and photoprotective properties. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 23, 100515.
- Gani, A., Ashraf, Z. U., Shah, A., Noor, N. & Gani, A. (2021). Encapsulation of Vitamin D3 into β -glucan matrix using the supercritical carbon dioxide. *ACS Food Science & Technology*, 1(10), 1880-1887.
- Ghodrati, M., Farahpour, M. R. & Hamishehkar, H. (2019). Encapsulation of peppermint essential oil in nanostructured lipid carriers: in-vitro antibacterial activity and accelerative effect on infected wound healing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 564, 161-69.
- Gómez-Sequeda, N., Ruiz, J., Ortiz, C., Urquiza, M. & Torres, R. (2020). Potent and specific antibacterial activity against *Escherichia coli* O157:H7 and methicillin resistant *Staphylococcus aureus* of G17 and G19 peptides encapsulated into poly-lactic-co-glycolic acid (PLGA) nanoparticles. *Antibiotics*, 9(7), 1-14.
- González Cruz, E. M., Andrade-González, I., Prieto, C., Lagarón, J. M., Calderón-Santoyo, M. & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Nanoencapsulation of polyphenolic-rich extract from biloxi blueberries (*Vaccinium Corymbosum* L.) by electrospraying using zein as encapsulating material. *Bionterface Research in Applied Chemistry*, 13(1), 78.
- Guaadaoui, A., Benaicha, S., Elmajdoub, N., Bellaoui, M. & Hamal, A. (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3(3), 174-179.
- Guerrero León, B., Corbino, G., Dufresne, A., Errea, M. I., D'Accorso, N. & Garcia, N. L. (2021). Arapey sweet potato peel waste as renewable source of antioxidant: Extraction, nanoencapsulation and nanoadditive potential in films. *Journal of Polymer Research*, 28, 8.
- Gulzar, S. & Benjakul, S. (2019). Characteristics and storage stability of nanoliposomes loaded with shrimp oil as affected by ultrasonication and microfluidization. *Food Chemistry*, 310, 125916.
- Hadidi, M., Rostamabadi, H., Moreno, A. & Jafari, S. M. (2022). Nanoencapsulation of essential oils from industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products into alfalfa protein nanoparticles. *Food Chemistry*, 386, 132765.
- Hashem, G., Ahmed, G., González, A. F. & García, M. E. D. (2020). Nano-encapsulation of grape and apple pomace phenolic extract in chitosan and soy protein via nanoemulsification. *Food Hydrocolloids*, 108, 105806.
- Heydari Gharehcheshmeh, M., Arianfar, A., Mahdian, E. & Naji-Tabasi, S. (2020). Production and evaluation of sweet almond and sesame oil nanoemulsion and their effects on physico-chemical, rheological and microbial characteristics of enriched yoğurt. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1270-1280.
- Homayonpour, P., Jalali, H., Shariatifar, N. & Amanlou, M. (2021). Effects of nano-chitosan coatings incorporating with free /nano-encapsulated cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil on quality characteristics of sardine fillet. *International Journal of Food Microbiology*, 341, 109047.
- Horky, P., Skalickova, S., Smerkova, K. & Skladanka, J. (2019). Essential oils as a feed additives: pharmacokinetics and potential toxicity in monogastric animals. *Animals*, 9(6), 352.
- Hyltdgaard, M., Mygind, T. & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3(12), 1-24.
- Ibrahim, H. R., Isono, H. & Miyata, T. (2018). Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins. *Animal Nutrition*, 4(3), 273-280.
- Jafari, S. M. (2017). An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. *Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries*, Edited by Seid Mahdi Jafari, Academic Press, 1-34.
- Jafari, S. Z., Jafarian, S., Hojjati, M. & Najafian, L. (2022). Evaluation of antioxidant activity of nano- and microencapsulated rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.) leaves extract in cress (*Lepidium Sativum*) and basil (*Ocimum Basilicum*) seed gums for enhancing oxidative stability of sunflower oil. *Food Science & Nutrition*, 10(6), 2111-2119.
- Kaur, N., Chugh, V. & Gupta, A. K. (2014). Essential fatty acids as functional components of foods-a review. *Journal of Food Science & Technology*, 51(10), 2289-2303.

- Kaur, P., Elsayed, A., Subramanian, J. & Singh, A. (2020). Encapsulation of carotenoids with sucrose by co-crystallization: physicochemical properties, characterization and thermal stability of pigments. *LWT*, 140(7), 110810.
- Koç, M., Sakin, M. & Kaymak-Ertekin, F. (2010). Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 77-86.
- Korhonen, H. & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945-960.
- Kutlu, N., Meral, R., Ekin, M. M., Kose, Y. E. & Ceylan, Z. (2022). A new application for the valorisation of pomegranate seed oil: nanoencapsulation of pomegranate seed oil into electrospun nanomats for food preservation. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 1074-1082.
- Kuznetcova, D. V., Linder, M., Jeandel, C., Paris, C., Desor, F., Baranenko, D. A. & Yen, F. T. (2020). Nanoliposomes and nanoemulsions based on chia seed lipids: Preparation and characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 9079.
- Latorres, J. M., Aquino, S., Rocha, M., Wasielesky, W., Martins, V. G. & Prentice, C. (2021). Nanoencapsulation of white shrimp peptides in liposomes: Characterization, stability, and influence on bioactive properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), 15 7627-7650.
- Mahalakshmi, L., Leena, M. M. & Moses, J. A., Anandharamkrishnan, C. (2020). Micro- and nano-encapsulation of β -carotene in zein protein: Size-dependent release and absorption behavior. *Food & Function*, 11, 1647-1660.
- Maqsoudlou, A., Assadpour, E., Mohebodini, H. & Jafari, S. M. (2020). The influence of nanodelivery systems on the antioxidant activity of natural bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 1-24.
- Matshetshe, K. I., Parani, S., Manki, S. M. & Oluwafemi, O. S. (2018). Preparation, characterization and in vitro release study of β -cyclodextrin/chitosan nanoparticles loaded Cinnamomum zeylanicum essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 676-682.
- McClements, D. J. & Rao, J. (2011). Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 285-330.
- McClements, D. J., Öztürk, B., Rodríguez-Alcalá, M., Pimentel, L. & Vidigal, S. (2021). Utilization of nanotechnology to improve the handling, storage and biocompatibility of bioactive lipids in food applications. *Foods*, 10, 365.
- Melo, A. P. Z., Rosa, C. G., Noronha, C. M., Machado, M. H., Sganzerla, W. G., Cunha Bellinati, N. V., Nunes, M. R., Verruck, S., Prudêncio, E. S. & Barreto, P. L. M. (2021). Nanoencapsulation of Vitamin D3 and fortification in an experimental jelly model of Acca sellowiana: Bioaccessibility in a simulated gastrointestinal system. *Food Science and Technology*, 145, 111287.
- Mirzaei-Mohkama, A., Garavand, F., Dehnadd, D., Keramata, J. & Nasirpour, A. (2020). Physical, Mechanical, Thermal and Structural Characteristics of nanoencapsulated Vitamin E loaded carboxymethyl cellulose films. *Progress in Organic Coatings*, 138, 105383.
- Moghadam, F. V., Pourahmad, R., Mortazavi, A., Davoodi, D. & Azizinezhad, R. (2019). Use of fish oil nanoencapsulated with gum arabic carrier in low fat probiotic fermented milk. *Food Science of Animal Resources*, 39(2), 309-323.
- Mohammadi, B., Shekaari, H. & Zafarani-Moattar, M. T. (2018). Synthesis of nanoencapsulated Vitamin E in phase change material (PCM) shell as thermo-sensitive drug delivery purpose. *Journal of Molecular Liquids*, 320, 114429.
- Mohammadi, M., Hamishehkar, H., Ghorbani, M., Shahvalizadeh, R., Pateiro, M. & Lorenzo, J. M. (2021). Engineering of liposome structure to enhance physicochemical properties of Spirulina plantensis protein hydrolysate: Stability during spray-drying. *Antioxidants*, 10(12), 1953.
- Mohan, A., Rajendran, S. R. C. K., He, Q. S., Bazinet, L. & Udenigwe, C. C. (2015). Encapsulation of food protein hydrolysates and peptides: A review. *RSC Advances*, 5(97), 79270-79278.
- Mozaffarian, D., Micha, R. & Wallace, S. (2010). Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLOS Medicine*, 7(3), 1000252.
- Nahr, F. K., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., Kafil, H. S., Hoseini, M. & Moghadam, B. E. (2019). Investigation of physicochemical properties of essential oil loaded nanoliposome for enrichment purposes. *LWT*, 105, 282-289.
- Nishimoto-Sauceda, D., Romero-Roblesa, L. E. & Antunes-Ricardob, E. (2021). Biopolymer Nanoparticles: a strategy to enhance stability, bioavailability, and biological effects of phenolic compounds as functional ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 41-52.
- Noori, S., Zeynali, F. & Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. *Food Control*, 84, 312-320.
- Ordoñez Lozada, M. I., Rodrigues Maldonado, I., Bobrowski Rodrigues, D., Silva Santos, D., Ortega Sanchez, B. A., Narcizo de Souza, P. E. & de Lacerda de Oliveira, L. (2021). Physicochemical characterization and nano-emulsification of three species of pumpkin seed oils with focus on their physical stability. *Food Chemistry*, 343, 128512.
- Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B. & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products. *Molecules*, 26(6), 154.
- Petito, N. L., Devens, J. M., Falcao, D. Q., Dantas, F. M. L., Passos, T. S. & Araujo, K. G. L. (2022). Nanoencapsulation of red bell pepper carotenoids: Comparison of encapsulating agents in an emulsion based system. *Colorants*, 1(2), 132-148.

- Prajapati, R. A. & Jadeja, G. C. (2022). Natural food colorants: Extraction and stability study. *Materials Today: Proceedings*, 57, 2381-2395.
- Rahmani-Manglano, N. E., Tirado-Delgado, M., Garcia-Moreno, P. J., Guadix, A. & Guadix, E. M. (2022). Influence of emulsifier type and encapsulating agent on the in vitro digestion of fish oil-loaded microcapsules produced by spray-drying. *Food Chemistry*, 392, 133257.
- Rahneem, P., Sarabi-Jamab, M., Bostan, A. & Mansouri, E. (2021). Nano-encapsulation of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract and evaluation of its antimicrobial properties on coated chicken meat. *Food Bioscience*, 43, 101331.
- Ramalho, M. J., Loureiro, J. A. & Pereira, M. C. (2021). Poly(lactic-co-glycolic acid) nanoparticles for the encapsulation and gastrointestinal release of Vitamin B9 and Vitamin B12. *ACS Applied Nano Materials*, 4(7), 6881-6892.
- Ravi Kumar, M. N. (2000). Nano and microparticles as controlled drug delivery devices. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 3, 234-258.
- Resende, D., Lima, S. A. C. & Reis, S. (2020). Nanoencapsulation approaches for oral delivery of Vitamin A. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 193, 111121.
- Ribeiro, C. D. F., Schappo, F. B., Sales, I. D., Assuncao, L. S., Otero, D. M., Magalhaes-Guedes, K. T., Machado, B. A. S., Block, J. M., Druzian, J. I. & Nunes, I. L. (2022). Novel bioactive nanoparticles from crude palm oil and its fractions as foodstuff ingredients. *Food Chemistry*, 373, 131252.
- Rosales, T. K. O., Silva, M. P., Lourenço, F. R., Hassimotto, N. M. A. & Fabi, J. P. (2021). Nanoencapsulation of anthocyanins from blackberry (*Rubus* Spp.) through pectin and lysozyme self-assembling. *Food Hydrocolloids*, 114, 106563.
- Royshampur, F., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F. & Alaei, S. (2020). Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 23-32.
- Ruengdech, A. & Siripatrawan, U. (2021). Application of catechin nanoencapsulation with enhanced antioxidant activity in high pressure processed catechin-fortified coconut milk. *Food Science and Technology*, 140, 110594.
- Salaha, M., Mansoura, M., Zogonaa, D. & Xu, X. (2020). Nanoencapsulation of anthocyanins-loaded β -lactoglobulin nanoparticles: Characterization, stability, and bioavailability in vitro. *Food Research International*, 137, 109635.
- Sarabandi, K. & Jafari, S. M. (2020). Fractionation of flaxseed-derived bioactive peptides and their influence on nanoliposomal carriers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (51), 15097-15106.
- Sarabandi, K., Rafiee, Z., Khodaei, D. & Jafari, S. M. (2019). Encapsulation of food ingredients by nanoliposomes. *Lipid-Based Nanostructures for Food Encapsulation Purposes*, Edited by Seid Mahdi Jafari, Academic Press, 2, 347-404.
- Sarvinehbaghi, M. B., Ahmadi, M., Shiran, M. & Azizkhani, M. (2021). Antioxidant and antimicrobial activity of red onion (*Allium Cepa*, L.) extract nanoencapsulated in native seed gums coating and its effect on shelf-life extension of beef fillet. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 4771-4780.
- Sharifan, M. B., Ahmadi, M., Shiran, M. & Azizkhani, M. (2021). The efficacy of dairy products fortified with nano-encapsulated Vitamin D3 on physical and mental aspects of the health in obese subjects; the protocol of The SUVINA trial. *Translational Metabolic Syndrome Research*, 4, 1-9.
- Shetta, A., Kegere, J. & Mamdouh, W. (2018). Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 731-742.
- Shi, Z., Jiang, Y., Sun, Y., Min, D., Li, F., Li, X. & Zhang, X. (2021). Nanocapsules of oregano essential oil preparation and characterization and its fungistasis on apricot fruit during shelf life. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), e15649.
- Solghi, S., Emam-Djomeh, Z., Fathi, M. & Farahani, F. (2020). The encapsulation of curcumin by whey protein: Assessment of the stability and bioactivity. *Journal of Food Process Engineering*, e13403.
- Stefani, F. S., de Campo, C., Paese, K., Guterres, S. S., Costa, T. M. H. & Flores, S. H. (2018). Nanoencapsulation of linseed oil with chia mucilage as structuring material: Characterization, stability and enrichment of orange juice. *Food Research International*, 120, 872-879.
- Su, L., Zhou, F., Yu, M., Ge, R., He, J., Zhang, B., Zhang, Y. & Fan, J. (2020). Solid lipid nanoparticles enhance the resistance of oat-derived peptides that inhibit dipeptidyl peptidase IV in simulated gastrointestinal fluids. *Journal of Functional Foods*, 65, 103773.
- Tabarestani, H. S. & Jafari, S. M. (2019). Production of food bioactive-loaded nanofibers by electrospinning. *Nanoencapsulation of Food Ingredients by Specialized Equipment*. Edited by Seid Mahdi Jafari, Elsevier Academic Press, 3, 31-105.
- Tontul, I., Eroglu, E. & Topuz, A. (2017). Nanoencapsulation of fish oil and essential fatty acids. *Nanoencapsulation of food bioactive ingredients*, Edited by Seid Mahdi Jafari, Academic Press, 103-144.
- Vafania, B., Fathi, M. & Soleimani-Zad, S. (2019). Nanoencapsulation of thyme essential oil in chitosan-gelatin nanofibers by nozzle-less electrospinning and their application to reduce nitrite in sausages. *Food and Bioprocess Processing*, 116, 240-248.
- Wan, J., Jin, Z., Zhong, S., Schwarz, P., Chen, B. & Rao, J. (2020). Clove oil-in-water nanoemulsion: Mitigates growth of *Fusarium graminearum* and trichothecene mycotoxin production during the malting of *Fusarium* infected barley. *Food Chemistry*, 312, 126120.

- Wang, F., Pu, C., Liu, M., Li, R., Sun, Y., Tang, W., Quingjin, S. ve Tian, Q. (2022). Fabrication and characterization of walnut peptides-loaded proliposomes with three lyoprotectants: Environmental stabilities and antioxidant/antibacterial activities. *Food Chemistry*, 366, 130643.
- Yao, L., Xu, J., Zhang, L., Liu, L. & Zhang, L. (2021). Nanoencapsulation of anthocyanin by an amphiphilic peptide for stability enhancement. *Food Hydrocolloids*, 118, 106741.
- Yekta, M. M., Rezaei, M., Nouri, L., Azizi, M. H., Jabbari, M. E. & Khaneghah, A. M. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of burgers with quinoa peptide-loaded nanoliposomes. *Journal of Food Safety*, 40, 12753.