Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi (IJFAA) 2021, 1(1): 19-30.
International Journal of Food, Agriculture and Animal Sciences (IJFAA)

OPEN ACCESS

International Journal of Food, Agriculture and Animal Sciences (IJFAA)

http://dergipark.org.tr/ijfaa

Nanotechnology Applications Used in the Food Industry, Safety of Nanofood and Nanoemulsion Technique

Kevser ALACA[1]* Nur BAYRAK[2] Nursaç AKYOL[3] Ayhan BAŞTÜRK[4]

Article info:
Received: 07.09.2021
Accepted: 20.09.2021

Article type: Review

Keywords:
Nanotechnology, nanofood, food processing, nanoemulsion.

Abstract

Food nanotechnology is among the newest emerging technologies. This technology has very good treatments in the food industry in terms of food processing such as packaging, safety, and quality control. Nanotechnology plays an important role in the development of an ideal system for the proper encapsulation, safety, and delivery of nutraceuticals and functional foods. There are many advantages of using nanotechnology in the food industry. Some of these can be listed as an antimicrobial effect, increasing the heat resistance of food, increasing the shelf life of food, improved agricultural production, and perceiving food spoilage. On the other hand, nanomaterials and nanoparticles have risks in terms of toxicity and safety. By unconsciously consuming nanofoods, people also take in biopermanent nanoparticles, which can cause many ailments such as immune system disorders. In this review, the importance of nanotechnology in the field of nanofood, the widely used nanoemulsion technique in nanofood production and safety of nanofoods are discussed.

Citation: Alaca, K., Bayrak, N., Akyol, N., Baştürk, A. 2021. Nanotechnology Applications Used in the Food Industry, Safety of Nanofood and Nanoemulsion Technique. International Journal of Food, Agriculture and Animal Sciences, 1 (1): 19-30.

Gıda Sektöründe Kullanılan Nanoteknoloji Uygulamaları, Nanogıdaların Güvenliği ve Nanoemülsiyon Tekniği

Makale Bilgileri
Geliş Tarihi: 07.09.2021
Kabul Tarihi: 20.09.2021

Makale türü: Derleme

Anahtar kelimeler
Nanoteknoloji, nanogıda, gıda işleme, nanoemülsiyon.

Öz

Gıda alanında nanoteknoloji uygulamaları yeni teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu teknolojinin gıda endüstrisinde gıdanın işlenmesi, paketlenmesi, güvenliği ve kalite kontrolü açısından uygulamaları bulunmaktadır. Nanoteknoloji, nutrasötiklerin ve fonksiyonel gıdaların uygun şekilde kapsüllenmesi, güvenliği ve dağıtımı için verimli bir kolloidal sistemin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Nanoteknolojinin gıda endüstrisinde kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; antimikrobiyal etki, gıdaların ısı direncinin artırılması, gıdanın raf ömrünün uzatılması, gelişmiş tarımsal üretim ve gıdanın bozulmasının algılanması şeklinde sıralanabilir. Bunun yanı sıra nanomalzemelerin ve nanopartiküllerin toksisite ve güvenlik gibi konularda riskleri mevcuttur. Bilinçsiz bir şekilde üretilen nanogıdaların tüketilmesiyle insanlar, bağışıklık sistemi bozukluğu gibi pek çok rahatsızlığa sebep olabilen biyokalıcı nanopartikülleri de bünyelerine almaktadır. Bu derlemede, nanoteknolojinin nanogıda alanında önemi, nanogıda üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan nanoemülsiyon tekniği ve nanogıdaların güvenliği ele alınmıştır.

Atıf: Alaca, K., Bayrak, N., Akyol, N., Baştürk, A. 2021. Gıda Sektöründe Kullanılan Nanoteknoloji Uygulamaları, Nanogıdaların Güvenliği ve Nanoemülsiyon Tekniği. Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 1 (1): 19-30.

[1] *0000-0001-9439-0174, Bingol Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl, Türkiye kalaca@bingol.edu.tr.
[2] 0000-0003-2575-483X, Bingol Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl, Türkiye nbayrak@bingol.edu.tr.
[3] 0000-0002-1554-5340, Bingol Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl, Türkiye nakyol@bingol.edu.tr
[4] 0000-0001-7701-9306, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Van, Türkiye ayhanbasturk@yyu.edu.tr

Giriş

Gıda, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren hayatın devamlılığı için en önemli kaynaklardan biri olmuştur. Geçmişten bugüne, gıdanın güvenliğini sağlamak, en iyi şekilde muhafaza edebilmek ve yeterince üretebilmek hayatta kalmanın temel şartı sayılmıştır (Gökırmaklı & Bayram, 2018). Son zamanlarda beslenme ve sağlık ilişkisi hakkında artan bilinçle beraber genellikle daha taze, doğal, kaliteli, mikrobiyal açıdan güvenli, uzun ömürlü gıdalara ve işlevsel gıdalara olan ilgi de gün geçtikçe artmaktadır. Bu talepleri karşılayabilmek için gıda üreticileri yeni yöntem ve teknoloji arayışına girmiştir (Polat & Fenercioğlu, 2014). Nanoteknoloji kullanılarak gıdalarda mevcut bulunan maddeler üzerinde moleküler düzeyde değişiklikler yapılabilecek ve çeşitli özelliklerde nano yapılar kullanılarak istenilen özellikteki ürün elde edilebilecektir (Tarhan et al., 2010; Sürengil & Kılınç, 2011). Bu sayede gıdada arzu edilen duyusal ve mekanik özellikler sağlanabilecek, yeni ve işlevsel gıdalar üretilebilecek ve mikrobiyal açıdan gıdayı daha güvenli kılan, daha uzun raf ömrü sağlayan ambalajlar geliştirilebilecektir. Nanoteknoloji gıda endüstrisi için yeni bir alandır ancak nanoteknoloji alanındaki gelişmelerle birlikte gıdadaki uygulamaları da ilerleme göstermektedir (Chau et al., 2007; Dağ, 2014).

Bu derlemede son yıllarda hızlı bir gelişme gösteren nanoteknoloji, nanogıda, nanoemülsiyon teknikleri, nanogıdaların güvenliği ve nanoteknolojinin gıda endüstrisindeki uygulamaları ele alınmıştır.

Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji ve Nanogıdalar

Boyutları 0.1 ile 100 nanometre (nm) arasında değişen küçük boyutlardaki malzemelerin üretilmesini ve kullanılmasını içeren, nano boyuttaki malzemeleri yönetme teknolojisine nanoteknoloji denir (Duncan, 2011; Ramsden, 2014). Diğer bir ifadeyle nanoteknoloji, maddeler üzerinde 100 nm'den çok daha küçük boyutlarda oluşturulan işleme, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla maddeye atom veya molekül düzeyinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen bilim ve teknoloji alanıdır (Roco, 2007). Nanoteknolojide temel amaç, atom veya molekülleri tek tek detaylı bir şekilde birleştirip, doğadaki atomik dizilimi taklit ederek istenen ürünü elde etmektir. Disiplinler arası güçlü bir araç olan nanoteknoloji, yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi için son yıllarda küresel boyutta giderek önem kazanan yeni bir teknoloji olmuştur. Nanoteknolojinin elektronik, bilgisayar, tıp, ilaç, tekstil, çevre, enerji, biyoteknoloji, ziraat ve gıda endüstrisi gibi birçok alanda uygulama imkânı bulunmaktadır (Joseph & Morrison, 2006; Tarhan et al., 2010; Handford et al., 2014). Nanoteknoloji gıda endüstrisi için yeni bir uygulama alanı olmasına rağmen gıda sistemlerini pek çok yönden etkileyebilecek potansiyele sahiptir (Chau et al., 2007). Tarım sektöründen gıda maddelerinin üretimine, takviye edici gıdalardan gıda ambalajlama sistemlerine kadar pek çok alanda nanotekniklerden faydalanılmaktadır (Yılmazer & Altay, 2014). Gıda bileşenlerinden oluşan nanoemülsiyonlar, nanoparçacıklar, nanokompozitler, nanolifler, nanotüpler ve nanosensörler çeşitli amaçlarla gıda uygulamalarında kullanılabilme özelliğine sahiptir (Duncan, 2011; Ramsden, 2014). Nanogıdalar ise hasat edilmiş, işlenmiş, üretilmiş ve paketlenmiş gıdalar ile nanoparçacıklar ve aktif bileşenler içeren nanokapsüller gibi nanomalzemelerin ilave edilmesiyle nanoteknoloji tekniklerinin kullanıldığı gıda ürünleri olarak tanımlanmaktadır (Saka & Terzi Gülel, 2015). Bu teknik gıdaların nanomakineler tarafından üretildiği veya modifiye edildiği anlamına gelmemektedir. Yani nanogıdalar moleküler boyutta gerçekleştirilen değişimle elde edilmektedir ve renk, koku, form gibi çok farklı şekilde kendini göstermektedir. Gıda nanoteknolojisi temel anlamda gıda sektörü için nanobilim uygulamalarını kapsamaktadır. Daha spesifik anlamda ise nano bilim ve mühendislik ile gıdaların yapısı, dokusu ve kalitesi üzerinde yeni atılımlar ve uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Joseph & Morrison, 2006; Saka & Gülel, 2015). Örneğin son yıllarda nanoteknoloji kullanılarak üretilen ve bir nanogıda olan titanyum çikolata, içerdiği TiO_2 nano parçacıkları sayesinde erimeye dayanıklı hale getirilmiştir. Nanogıdaya başka bir örnek olarak ise 100 °C'de kırmızı renk ve domates tadını verirken 200 °C'ye ısıtıldığında yeşil renk alıp ıspanak tadını veren nanopizza verilebilir (Dudo et al., 2011; Aydın et al., 2021).

Son zamanlarda gıda nanoteknolojisi alanındaki ilerlemelerle, yenilikçi ve daha sağlıklı gıdalar geliştirilebilmektedir (Saka & Terzi Gülel, 2015). Nanoteknoloji sayesinde nanoparçacıklı fonksiyonel gıda bileşenleri üretilebilmekte ve fonksiyonel ürünlerde kullanılabilmektedir. Protein, karbonhidrat ve yağ kaynaklı

nanopartiküller ile gıda ürünlerine içerik, tekstür, aroma, renk gibi istenilen özelliklerin kazandırılması sağlanabilmektedir (Tarhan et al., 2010). Nanoteknoloji ile sıvı gıdaların saflaştırılması ve gıdaların dezenfeksiyonu amacıyla nanofiltrasyon tekniklerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Nanoteknolojik teknikler kullanılarak sağlık üzerinde olumlu etkileri olan biyoaktif maddelerin ve nutrasötiklerin çözünürlüklerinin ve işlevlerinin geliştirilmesi, olumsuz koşullara dayanıklılığının dolayısıyla biyoyararlılığının arttırılması, kontrollü salınımlarının sağlanması işlevsel gıda üretimine büyük katkı sağlayacaktır (Dağ, 2014). Nanokapsüller gıdaların işlenmesi ve muhafazası sırasında olumsuz çevre şartlarına karşı çeşitli biyoaktif maddeleri ve nutrasötikleri de koruyarak vücutta istenen dokulara taşınmasını ve uygun bölgede salınımlarını sağlamaktadır. Böylece bu maddelerin biyoyararlılıkları da artmaktadır. Nanokapsüller ile olumsuz koşullarda gıdalardaki biyoaktif maddelerin zararlı bileşenlere dönüşmesi engellenmektedir (Chaudhry et al., 2008; Dion et al., 2008; Sozer et al., 2009; Baysal 2020). Nanoteknolojiden gıda endüstrisinde kalite kontrol ve güvenlik amaçlı yararlanılabilmektedir. Nanoteknoloji teknikleri ile üretilen, nanokablo ve patojenlere özgü antikorlar kullanılarak geliştirilen ve ambalaja direkt olarak yerleştirilebilen nanosensörler sayesinde gıdalarda bulunan patojenlerin, toksinlerin, bozulma durumlarının tespiti ve takibi kolay ve ekonomik bir şekilde yapılabilmektedir (Csrees, 2003; Dağ, 2014). Nanosensörler ile oksijen, sıcaklık, nem gibi çevresel şartlarda meydana gelen değişimlerin gıda üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir. Böylece ambalaj çevresel koşullara göre kendini ayarlayabilmekte ve çeşitli olumsuzluklara karşı (patojen, bozulma, toksik kimyasal, biyolojik toksin ve kalıntı) tüketiciyi uyarabilmektedir. Ayrıca bu teknolojiden, gıdalarda istenmeyen tatların maskelenmesi, suda çözünmeyen katkı maddelerinin sulu ortamlarda dağılımının sağlanması gibi işlemlerde de yararlanılmaktadır (Bouwmeester et al., 2009; Qureshi et al., 2012). Nanoteknoloji sayesinde nanokompozit ambalaj malzemeleri, aktif ambalajlar, akıllı ambalajlar, yenilebilir film ve kaplamalar ve biyobozunur ambalajlar üretilebilmektedir (Bente et al., 2000). Gıda endüstrisindeki en büyük sorunlardan biri olan oksidasyon, çeşitli nanokompozitler kullanılarak gaz geçirgenliğinin azaltılmasıyla ve ambalajın iç kısmına oksijen adsorplayan özellik kazandırılmasıyla sınırlandırılabilmektedir (Var & Sağlam 2015; Youssef & El Sayed, 2018).

Nanoteknolojinin gıda endüstrisine dahil edilmesi, daha iyi termal stabilite, daha iyi çözünürlük, yeni ve daha yüksek biyoyararlanıma sahip gıdaların üretilmesini sağlamıştır. Gıdaların raf ömrünün arttırılmasının, gıda kirleticilerinin daha iyi izlenmesinin, gıda takviyeleri ve antibakteriyel maddeler gibi gıda koruyucularının gıdalara daha iyi dahil edilebilmesinin önünü açan nanoteknoloji uygulamaları, nanoteknolojinin son girdiği alanlardan birisi olmasına rağmen gıda endüstrisi için önemli yenilik ve gelişmeler sağlamaktadır (Hamad et al., 2018). 2014, 2015 ve 2016 yılarında nanoteknoloji teknikleri kullanılarak gıda alanında üretilen nanoürün sayısı Tablo 1'de verilmektedir (Walz et al., 2017).

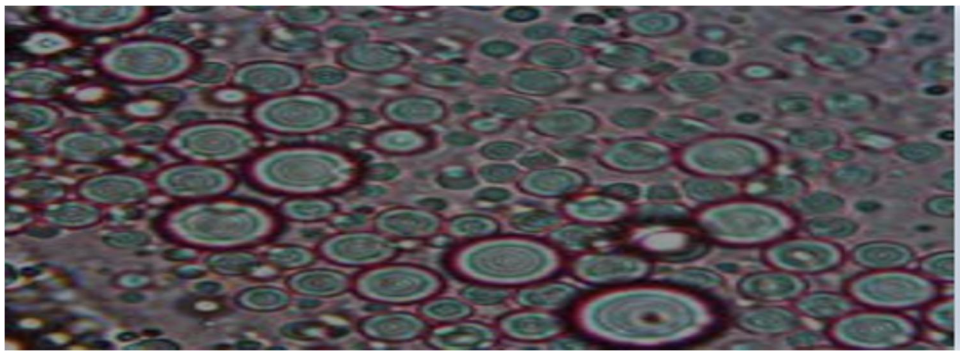
Çizelge 1. Gıda alanında üretilen nanoürün sayısı (Walz et al., 2017)

Alan	2014	2015	2016
Gıda	96	7	7
Gıda ve İçecek	204	117	118
Katkı Maddeleri	67	69	70
Pişirme	16	15	15
Depolama	20	20	20

Nanogıda Üretiminde Nanoemülsiyon Tekniği

Çoğunlukla birbirleriyle karışmayan iki sıvının oluşturduğu dispersiyon sistemlerine emülsiyon denir. Hidrofilik (suya ilgisinin olması) ve lipofilik (yağa ilgisinin olması) olmak üzere iki fazdan oluşan bu sistemlerde emülsiyon ortamını oluşturan faza dış faz, dış faz içerisinde dağılan faza ise iç faz (dispers faz) denir. Dış faz ve iç fazın birbirleri ile olan etkileşimleri emülsiyon çeşitlerini oluşturur. Su içinde yağ (y/s) ve yağ içinde su (s/y) emülsiyonu olmak üzere iki ana emülsiyon çeşidi vardır. Bir y/s emülsiyon sisteminde dış fazı su oluştururken, iç

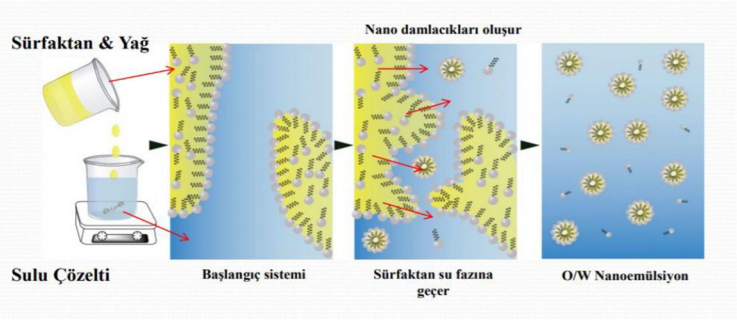
fazı oluşturan yağ damlacıkları su içinde küçük damlacıklar halinde dağılmıştır. Bu iki ana emülsiyon tipi dışında çoklu emülsiyonlar oluşturmak da mümkündür. Bunlar; su içerisinde yağ, yağ içerisinde su emülsiyonu (s/y/s) ile yağ içinde su, su içerisinde yağ (y/s/y) tipindeki emülsiyonlardır (Garti & Benichou, 2004). Bir s/y/s emülsiyon sisteminde, emülsiyon ortamında bulunan su, dış fazı meydana getirir. Dış fazda dağılmış halde bulunan yağ damlacıklarının da arasında su damlacıklarının dağılmış halde bulunması bu tip emülsiyonu oluşturur. Fakat yağ damlacıklarının içinde dağılmış halde bulunan su damlacıklarının stabil olması gerektiği gibi yağ damlacıklarının içinde bulunduğu su ortamının stabil olası gerektiğinden s/y/s ve y/s/y tipindeki emülsiyonları oluşturmak oldukça zordur. Bir emülsiyon sistemindeki damlacıkların ışık mikroskobu altındaki görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Emülsiyon sistemindeki su ve yağ damlacıklarının ışık mikroskobu altındaki görünümü (Ketenoğlu, 2020).

Emülsiyonlar, fizikokimyasal özellikleri ve stabilizasyon mekanizmasına göre makroemülsiyonlar, mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Nanoemülsiyonlar; kesintisiz sulu bir faz içerisinde dağılmış halde bulunan her biri emülgatör molekülleri ile çevrili, nano boyuttaki yağ damlacıklarının oluşturduğu emülsiyonlardır. Diğer bir ifade ile nanoemülsiyonlar, 20-200 nm büyüklüğüne sahip kinetik olarak kararlı termodinamik olarak kararlı olmayan sistemlerdir. Spontan bir nanoemülsiyonun şematik gösterimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Spontan bir nanoemülsiyonun şematik olarak gösterimi (McClements & Rao, 2011).

Kullanılan fazların özellikleri, konsantrasyon, viskozite, emülsiyon tipi, emülsifikasyon yöntemi ve yardımcı maddelerin özelliklerine bağlı olarak nanoemülsiyonların özellikleri ve stabilitesi değişim gösterebilmektedir (McClements, 2010).

Nanoemülsiyonların Hazırlanmasında Kullanılan Materyaller

1. Yağ

Nanoemülsiyonlarda yağ fazı olarak farklı polaritelere sahip yağlar ve lipofilik çekirdek maddeler kullanılabilmektedir. Bu amaçla tri, di ya da mono-açilgliseroller, serbest yağ asitleri, uçucu yağlar ve mumlardan yararlanılabilmektedir. Fakat ayçiçek yağı, mısır özür yağı ve soya yağı, yağ fazı olarak daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü bu yağların maliyeti düşüktür, doğada yaygın bir şekilde bulunurlar ve toksik özelliğe sahip değillerdir (Jin et al., 2016).

2. Su

Su fazı, çeşitli polisakkaritler, yardımcı çözücüler, tuzlar, proteinler ve çekirdek bileşenlerini de içerebilmektedir. Çözünen bu bileşenler su fazının pH'sını, iyonik gücünü, vizkozitesini, polaritesini, faz davranışını ve arayüzey gerilimini etkileyerek nanoemülsiyonların fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilmektedir. Su fazında pektin, guar zamkı, aljinat ve diğer polisakkaritlerin bulunması nanoemülsiyonun viskozitesini arttırarak stabiliteyi arttırmaktadır (Deshmukh et al., 2012; Paximada et al., 2016). Proteinler ise hem su fazı hem de yağ fazı ile etkileşime girerek sürfektan gibi davranmaktadır (Lee & McClements, 2010).

3. Emülgatörler

Emülsifierler veya yüzey aktif maddeleri adlarıyla da bilinen emülgatörler, yağ-su ara yüzeylerine eklenerek, ara yüzey gerilimini azaltırlar ve böylece damlacıkların stabilitesini korurlar. (Mason et al., 2006; Demirci, 2012). Fosfolipitler, sentetik küçük moleküllü yüzey aktif maddeler, polisakkaritler ve proteinler yaygın bir şekilde kullanılan emülgatörlerdir. Daha kolay nanoemülsiyonların hazırlanmasında daha çok sentetik küçük moleküllü emülgatörler kullanılmaktadır. Ancak gıda güvenliği açısından tüketicilerin tercihinin değişmesi ve maliyetleri nedeniyle giderek doğal emülgatörlere yönelim artmıştır (Ostertag et al., 2012; Piorkowski & McClements, 2014; Guttoff et al., 2015). Peynir altı suyu proteini, kazein, β-laktoglobulin, ovalbümin, soya proteini ve sığır serum albümini en yaygın kullanılan doğal emülgatörlerdir (Komaiko & McClements, 2016).

Çizelge 2. Emülgatörlerin Gıda Endüstrisinde Kullanılması İle İlgili Örnekler (Demirci, 2012; Güngör et al., 2013)

Gıda	Etkisi
Margarin	w/o emülsiyonun stabilizasyonu
Mayonez	o/w emülsiyonun stabilizasyonu
Sucuk, salam, sosis	o/w emülsiyonun stabilizasyonu ve sert yapı kazandırması
Ekmek, diğer fırın ürünleri	Fırıncılık ürünlerinde hacim ve ekmek içi özelliklerinin gelişmesi, nişasta retrogradasyonunun önlenmesi
Çikolata	Reolojik özelliklerin düzeltilmesi, yağ sızmasının önlenmesi
İnstant toz ürünler	Çözünürlüğün sağlanması

4. Yardımcı Sürfektanlar

Yüzey gerilimini azaltarak daha küçük damlacık büyüklüğüne sahip nanoemülsiyonların üretilmesini mümkün kılan yardımcı sürfektanlar, tek başlarına emülsiyonları stabilize edebilecek kadar yüzey aktif özelliğe sahip değillerdir. Etanol ve gliserin yaygın olarak kullanılan yardımcı sürfektanlardır (Jin et al., 2016).

5. Diğer Maddeler

Uzun zincirli triaçilgriseroller, mineral yağ ve ester mumları, alkoller ve poliolller gibi maddeler emülsiyonların özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılırlar. Ancak bu maddeler nanoemülsiyon oluşumu için vazgeçilmez maddeler değildir (Jin et al., 2016).

Nanoemülsiyon Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

Nanoteknolojik uygulamalar ile elde edilen nanoemülsiyonlar; kremleşme, sedimentasyon, flokülasyon ve koalesans gibi problemlere maruz kalmazlar. Köpükler, kremler, sıvılar ve spreyler gibi çeşitli formülasyonlarda üretilebilen nanoemülsiyonlar, daha geniş yüzey alanına ve yüksek serbest enerjiye sahip oldukları için etkili taşıyıcı sistemlerdir. Hem lipofilik hem de hidrofilik çekirdek materyallerin enkapsülasyonunda kullanılabilirler (Bhosale et al., 2014; Borthakur et al., 2016). Sağlıklı insan hücrelerine zarar vermeyen nanoemülsiyonlar insanların beslenme, kozmetik ve terapötik amaçlarına uygundur. Materyallerin raf ömrünü ve çözünürlüğünü arttırırlar. Kötü koku ve acı tadı maskeleyebilen nanoemülsiyonşar toksik değillerdir (Bhosale et al., 2014; Borthakur et al., 2016). Gram pozitif bakterilerde antimikrobiyal ajanlar içeren nanoemülsiyonlar gıda ambalajlarının dezenfeksiyonunda kullanılabilmektedir. Nanoemülsiyonlar; tatlandırıcılar, aromalı yağlar, salata sosu içecekleri ve diğer işlenmiş pek çok gıdanın üretiminde kullanılabilmektedir (Chu et al., 2007; Silva et al., 2012; Hamad et al., 2018).

Dezavantajları

Nanoemülsiyonlann hazırlanabilmesi icin özel hazırlama tekniklerinin gerekmesi ve oldukça pahalı olması, yüksek basınçlı homojenizatörler gibi özel cihazlar gerektirmektedir. Ostwald damlacık büyümesi de temel stabilite problemidir (Ayata, 2010).

Nanogıdaların Güvenliği

Gıda kalitesi ve güvenliğinin iyileştirilmesinden ambalajlamaya kadar pek çok gıda üretim, işleme, depolama ve muhafaza aşamalarında yararları olan ve gün geçtikçe gıda endüstrisinde kullanım alanı artan nanoteknolojinin sağlık üzerinde bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Nanoteknoloji yeni bir alan olduğu için uzun vadede sağlık risklerinin henüz anlaşılmamış olması, güvenlik düzenlemeleri olmadan pazarda yer alması nanogıdaların yararlarını baskılamaktadır. Nanoteknolojinin gıdalardaki kullanımının insan sağlığı üzerine olan etkisiyle ilgili olarak şimdiye kadar çok az in vivo çalışma yapılmış olması riskler üzerine endişeleri arttırmaktadır (Var & Sağlam, 2015). Nanomateryaller kullanılarak hazırlanan bir ambalajda bu materyallerin gıdaya olası migrasyonunu, toksik ve immunolojik etkilerini araştırmak ve anlamak gerekmektedir (Azeredo et al., 2011).

Yapılan toksisite çalışmaları nanopartiküllerin zararlı etkilerinin olduğunu göstermekte ve bu konuda birçok belirsizlik olduğu belirtilmektedir. Nanopartiküllerin sahip oldukları geniş yüzey alanları toksik maddelerin bağlanabileceği ve taşınabileceği yüzeyler sağlamaktadır. Nanopartiküller hücrelere kadar kolayca girebildiği için onlara bağlanan toksik maddeler de nanopartiküllerle birlikte taşınabilmektedir (Moore, 2006).

Nanogıdaların tüketimi insanların, birçok sağlık sorununa sebep olan biyokalıcı nanopartiküllere maruz kalmasına yol açabilmektedir. Bu nanomateryaller mide-bağırsak yolu iltahaplarına ve artan bağışıklık sistemi bozukluklarına sebep olabilmektedir. Özellikle 70 nm'den küçük olan nanopartiküller hücre çekirdeğine kolayca girebileceği için genetik sorunlara sebep olabilmektedirler. Ayrıca hayati organlara ve merkezi sinir sistemine kolayca ulaşabildiklerinden Parkinson ve Alzheimer hastalıklarına yol açabilmektedirler (Momin et al., 2013). Nanopartiküllerin solunması da akciğer rahatsızlıklarına yol açabilmektedir (Moore, 2006). Nanoteknoloji kullanılarak yapılan ambalajlamada, ambalaj malzemesine entegre edilen gümüş, magnezyum ve çinko-oksit gibi nanomalzemeler gıdalara bulaşabilmekte ve insan sağlığını tehdit edebilmektedir (Bouwmeester et al., 2009).

Gıda Alanında Kullanılan Nanoteknoloji Uygulamaları

Yapılan bir çalışmada biyoaktif ajanların kapsüllenmesi ve dağıtımı için yenilenebilir nanoemülsiyonların üretimi ve tasarımının önemli olduğu belirtilmiştir. Özellikle hidrofobik ilaçların, vitaminlerin ve fitokimyasalların üretimi için nanoemülsiyon kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada biyoaktif ajanların stabilitesini ve etkinliğini artırmada yenilebilir nanoemülsiyonların kullanılmasının öneminden bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra gastrointestinal sistem içinde biyoaktif maddelerin salınımını hedefleyerek biyoyararlanmayı artırmak üzere son yıllarda önemli gelişmeler mevcuttur. Bununla birlikte bitki bazlı yenilebilir nanoemülsiyonlar yaratmada önemli çalışmalar yapılmıştır (McClements, 2021).

Nano-gıda paketleme alanında yapılan bir çalışmada polilaktik asit polimerinde çinko oksit nanoparçacıkları kullanılarak yeni bir paket geliştirilmiş ve biyofilm içinde paketlenmiş üzüm meyvesinin depolama sırasında görünüm, tat ve tazelik açısından değişimi gözlenmiştir. Polilaktik asit polimerine çinko oksit nanoparçacığı ilavesinin film kalınlığını ve uzamayı iyileştirdiği, bununla birlikte paketlenmiş meyve örnekleri 15 gün boyunca 40°C'de orijinal tat ve tazeliğini koruduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda üzüm meyvesinin çinko oksit nanoparçacıkları ve polilaktik asit ile paketlenmesi sonucunda esmerleşme indeksinin ve metal birikim sonuçlarının çok iyi olduğu tespit edilmiştir (Batool et al., 2021).

Razavi et al. (2020) tarafından gastrektominin iyileştirilmesinde nanogıdaların kullanılması üzerine bir çalışma yapılmış ve hastalar için gerekli enerji ve besinleri sağlamak ve özellikle simüle edilmiş gastrointestinal sistem üzerindeki proteinlerin, lipidlerin ve karbonhidratların salınımını kontrol etmek için nanogıdayı verimli bir strateji olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. 489.9 Cal/100 g ile zein/aljinatın biyopolimer dağıtım sistemi (0.15:0.16 w/v, pH=8.30) ile kapsüllenmiş gıda matrisi nanoemülsiyonun ağızda (% 0.10) ve mide fazında (% 6.91) en az sindirilebilir besinler olduğu tespit edilmiştir.

D vitamini takviyeleri için süt ürünü olmayan yeni fonksiyonel gıdalar geliştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, bezelye proteini ile stabilize edilmiş nanoemülsiyonlar, D vitamini kapsüllenerek hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda küçük boyutlu nanoemülsiyonların (233 nm) hücresel alım verimliliğinin büyük boyutlu nanoemülsiyonlardan (350 nm) ~2,5 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve bezelye proteininin, D vitamini biyoyararlanımını artırabilen ve yaşlı popülasyonunda vitamin eksikliği durumunu iyileştirebilen gıda nanoemülsiyonları hazırlamak için etkili bir emülgatör olarak kullanılabileceği rapor edilmiştir (Walia & Chen, 2020).

Çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin balık yağı biyoyararlanımı üzerine emülsiyon bazlı taşıyıcı aracın nano boyutlandırılmasının etkilerinin üç aşamalı deneysel tasarım ile incelendiği bir çalışmada, nanoemülsiyonun geleneksel emülsiyona kıyasla, ince bağırsağın üç bölümünde çoklu doymamış yağ asitlerin alımının önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ve nano boyutlu damlacıklara sahip formülasyonların gelecekte oral tedavilerde kullanılabileceği belirtilmiştir (Dey et al., 2018).

Set tipi yoğurdun içeriğini güçlendirmeye yönelik bir çalışmada, iki seviyeli demir oksit, çinko oksit ve kalsiyum fosfat nanoparçacıkları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mineraller ayrıca nano ve mikro boyutlu şeklinde ayrılarak 28 günlük depolama süresince fizikokimyasal ve reolojik özellikler üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre mikro mineral numunelerde sineresis önemli ölçüde artarken, nano takviyeli numunelerde bu özelliğin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nanoparçacıklı yoğurdun in vitro sindirim analizi, üç mineral için mikro minerallerden daha fazla çözünürlük gösterdiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak nanopartiküller şeklinde güçlendirmenin geleneksel güçlendirmeye göre avantajlı olduğu belirtilmiştir (Santillán-Urquiza et al., 2017).

Meyve ve sebzelerde bulunan pektik bileşenlerin nanoteknolojik uygulamalar kullanılarak vücutta sindirilebilir forma dönüştürülmesinin araştırıldığı bir çalışmada, patates püresi materyal olarak kullanılmış ve buhar-termal veya kriyojenik yöntemler uygulanarak patateste bulunan pektik form nanoboyutlara parçalanarak vücut için daha kolay sindirilir bir forma dönüştürülmüştür. Kullanılan bu yeni yöntemle birlikte sağlığı iyileştiren beslenmeye yönelik yeni ürünler geliştirilebileceği belirtilmiştir (Pogarska et al., 2017).

Yüksek basınçlı homojenizasyon yöntemi kullanılarak kuersetin yüklü nanoemülsiyonların (QT-NE) hazırlandığı bir çalışmada, kuersetinin simüle edilmiş gastrointestinal koşullarda salıverme davranışı araştırılmış ve kinetik olarak modellenmiştir. Çalışmada, in vitro sindirim modeli, simüle edilmiş ince bağırsak koşullarında kuersetin biyoerişilebilirliğinin nanoenkapsülasyon ile iyileştirildiği gösterilmiştir (Ni et al., 2016).

Kırmızı biber nanoemülsiyonlarının kinetik ve termodinamik kararlılığı üzerine yapılan bir çalışmada, kırmızı biber yağ reçinesinin su içinde yağ nanoemülsiyonları, yüksek güçlü ultrason ile hazırlanmış, hidroflik-lipoflik denge ve yüzey aktif maddeleri arasındaki ilişkinin termodinamik ve kinetik özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada; 25, 35 ve 45 °C depolama koşullarında nanoemülsiyonlarda karotenoidlerin kırmızı ve sarı fraksiyonlarının termal bozunması için kinetik verilerin, geçiş durumu teorisi kullanılarak aktivasyon entalpisi ve entropisini tahmin etmek için kullanıldığı belirtilmiştir. Yapılan analizler sonucunda nanoemülsiyonlardaki karotenoidlerin stabilitesinin partikül boyutu azaldıkça arttığı rapor edilmiştir (Pascual-Pineda et al., 2015).

Kim et al. (2014) bir emülsifikasyon-buharlaştırma tekniği kullanarak düşük konsantrasyonlu bir likopen ekstraktından likopen nanoemülsiyonları hazırlamışlardır. Yapılan bu çalışmada likopen ekstraktı konsantrasyonunun etkileri Box-Behnken istatistik programı kullanılarak optimize edilmiştir. Sonuç olarak likopen nanoemülsiyon hazırlamanın istatistiksel tasarımı hakkında önemli bilgiler sağlandığı belirtilmiştir. Karadag et al. (2013) yanıt yüzey metodolojisi ile kuersetin nanoemülsifikasyonunu optimize etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada partikül boyutlarını etkileyen başlıca faktörler arasında basınç, emülgatör ve yağ konsantrasyonları ve basınç ile yağ konsantrasyonu arasındaki etkileşimin yer aldığı belirlenmiştir. Optimum koşulların oluşması için %13 emülsifiye edici ajan, %17 yağ ve 70 MPa homojenizasyon basıncının olması gerektiği tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada nanomalzemelerin gıda ambalajı ve gıda güvenliğindeki çeşitli uygulamaları olan yüksek bariyerli ambalaj malzemeleri olarak polimer/kil nanokompozitler, güçlü antimikrobiyal ajanlar olarak gümüş nanopartiküller ve gıda ile ilgili analitlerin tespiti için nanosensör ve nanomalzeme bazlı testler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Teknik yönlerinin yanı sıra sağlık açısından etkileri de araştırılmıştır. Bu uygulamaların seçilme nedenleri arasında doğrudan gıdaya katılamadığı ve pazarlama kolaylığı olduğu belirtilmiştir (Duncan, 2011).

Gümüş bazlı antibakteriyel hibrit malzemeler kullanılarak modifiye atmosferde ambalajlanmış sığır etinin yapısının gözlemlendiği bir çalışmada, gümüş nanoparçacıkları kullanılarak sığır etinin mikrobiyolojik özellikler üzerinde etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda selüloz-gümüş hibrit malzemelerin ortamda bulunan ana mikrobiyal grupların (toplam aerobik bakteriler, laktik asit bakterileri, *Pseudomonas* spp.) seviyelerini depolama boyunca 1 log kob/g azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte toplam aerobik bakteri ve *Pseudomonas* spp. seviyeleri gümüş iyonlarının etkisiyle önemli ölçüde azalırken, laktik asit bakterilerinin gümüş iyonlarına karşı daha az duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca etin renginin gümüş bazlı antimikrobiyal hibrit materyallerin varlığından etkilenmediği de tespit edilmiştir (Fernendez et al., 2010).

Ag ve ZnO içeren nanokompozit ambalajın taze portakal suyunun raf ömrü üzerine etkisinin değerlendirildiği bir araştırmada, Ag ve ZnO nanoparçacıklarını içeren nanokompozit LDPE filmler eritilerek hazırlanmış ve bu filmler içine taze portakal suyu doldurularak 4 °C'de depolanmıştır. Depolanan örneklerin 7, 28 ve 56 günlük zamanlarında mikrobiyal stabilite, askorbik asit içeriği, esmerleşme indeksi, renk değeri ve duyusal özellikleri değerlendirilmiştir. Yaklaşık % 1 nano-ZnO içeren nanomalzemeler içinde depolanan taze meyve suyunun mikrobiyal yükü 6 log kob/ml altında bulunduğu tespit edilmiştir. % 25 nano-ZnO içeren paketlerde ise askorbik asitte en az parçalanma, kahverengi pigmentlerde iyileşme ve renk kaybında azalma olduğu

gözlenmiştir. Bunun yanı sıra nanogümüş içeren paketlerin, duyusal özelliklerinin bir kısmı kaybolmasına rağmen taze meyve suyunun raf ömrünü artırdığı belirlenmiştir (Emamifar et al., 2010).

Sonuç

Gıda alanında nanoteknoloji; ambalajlamada, enkapsülasyonda, filtrasyonda ve fonksiyonel gıdaların üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca nanotaşınım sistemleri sayesinde nutrosetiklerin ve desteklerin vücut içerisinde hedef bölgelere ulaşımı ve nanosensörler sayesinde akıllı ambalajların üretiliyor olması nanoteknolojik materyalleri daha önemli kılmaktadır. Ancak nanogıdalar ile ilgili yeterli sayıda in-vitro ve in-vivo çalışmaların olmaması ve nanoparçacıkların insan vücuduyla etkileşimleri hakkında yeterli bilginin mevcut olmamasından dolayı nanogıdaların güvenliği ile ilgili bazı şüpheler bulunmaktadır. Bu şüphelerin ortadan kaldırılması için daha fazla in-vitro ve in-vivo çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

Ayata, E. R., 2010. Alpha lipoik asit içeren topikal nanoemülsiyon formülasyonlarının tasarımı ve değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Aydın, M., D. Arslan Danacıoğlu & S. Türker, 2021. Gıda teknolojisinde yenilikçi yaklaşımlar. Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi, 3 (1): 19-36.

Azeredo, H.M.C., 2009. Nanocomposites for food packaging applications. Food Research International 42: 1240-1253.

Azeredo, H.M.C., Mattoso, L.H.C., McHugh, T.H., 2011. Nanocomposites in food packaging-A review. B. Reddy (Ed.), Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites, 550 pp.

Bajpai, V.K., Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D.K., Chandra, P., Hwang, S.K., Kumar, P., Huh, Y.S., Han, Y.K., 2018. Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. Journal of Food and Drug Analysis 26: 1201-1214.

Batool, M., A. Abid, S. Khurshid, T. Bashir, M.A. Ismail, M.A. Razaq & M. Jamil, 2021. Quality control of nano-food packing material for grapes (*Vitis vinifera*) based on ZNO and polylactic acid (pla) biofilm. Arabian Journal for Science and Engineering. 1-13.

Baysal, G., 2020. Gıda endüstrisinde nanosistemlerin kullanımı. Gıda, 45 (3): 517-529.

Benichou, A., Aserin, A., Garti, N., 2002. Double emulsions stabilized by new molecular recognition hybrids of natural polymers. Polymers for Advanced Technologies, 13: 1019.

Bente, F., Hellstorm, T., Henrysdotter, G., Hjulmand-Lassen, M., Rüdinger, J., Sipilainen Malm, T., Solli E, Svensson K, Tharkelsson, E.A., Tuomaala, V., 2000. Active and intelligent food packaging, a nordic report on legislative aspects. Nordic Concil of Ministers, Copenhagen. 13-21.

Bhosale, R.R., Osmani, R.A., Ghodake, P.P., Shaikh, S.M., Chavan, S.R., 2014. Nanoemulsion: A review on novel profusion in advanced drug delivery. Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research, 2 (1): 122.

Borthakur, P., Boruah, P.K., Sharma, B., Das, M.R., 2016. Nanoemulsion: Preparation and its application in food industry. In Emulsions, Elsevier.153-191 pp.

Bouwmeester H., Dekkers S., Noordam M.Y., Hagens W.I., Bulder, A.S, de Heer C., Wijnhoven S.W, Marvin HJ, Sips AJ, 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regul Toxicol Pharm. 53 (1), 52-62.

Chau, C. F., Wu, S. H. & Yen, G. C., 2007. The development of regulations for food nanotechnology. Trends in Food Science & Technology, 18 (5), 269-280.

Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Watkins, R., 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. Food Additives and Contaminants 25 (3), 241-258.

Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn,J., Ross, B., Boxall,A., Castle, L., Aitken R., Watkins, R., 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. Food Additives and Contaminants, 25 (3): 241-258.

Chen, H., Weiss, J. and Shahidi, F., 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. Food Technology, 60 (3), 30-36.

Chu, B.S., Ichikawa, S., Kanafusa, S., Nakajima, M., 2007. Preparation of protein-stabilized β-carotene nanodispersions by emulsification-evaporation method. Journal of the American Oil Chemists' Society 84 (11), 1053-1062.

Csrees (Cooperative State Research, Education and Extension Service), 2003. Nanoscale Science and Engineering For Agriculture and Food Systems. USA.

D.J., McClements & 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.

Dağ, A., 2014. Nanoteknolojinin gıdalara uygulanması ve sağlık üzerine etkisi. Beslenme ve Diyet. 42 (2): 168-174.

Demirci, M.,2012. Gıda Kimyası. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul 290 pp.

Deshmukh, A.S., Setty, C.M., Badiger, A.M., Muralikrishna, K.S., 2012. Gum ghatti: A promising polysaccharide for pharmaceutical applications. Carbohydrate Polymers, 87 (2): 980-986.

Dey, T.K., H. Koley, M. Ghosh, S. Dey & P. Dhar, 2018. Effects of nano-sizing on lipidbioaccessibility and ex vivo bioavailability from epa-dha rich oil in water nanoemulsion. Food Chemistry,1-31.

Dion, M., Luykx, A.M., Peters, R.J.B., Van Ruth, S.M., Bouwmeester, H., 2008. A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. Journal Agriculture Food Chem. 56: 8231-8247.

Dudo, A., Choi, D. H., Scheufele, D. A., 2011. Food nanotechnology in the news. Coverage patterns and thematic emphases during the last decade. Appetite, 56 (1): 78- 89,

Duncan, T. V., 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. Journal of Colloid and Interface Science, 363 (1): 1-24.

Emamifar, A., M. Kadivar, M. Shahedi & S. Soleimanian-Zad, 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing ag and ZNO on shelf life of fresh orange juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 11: 742-748.

Erdal, M.S., 2009. Emülsiyonlar, www.meslekiyeterlilik.com/saglikecza/eczacilik/5.Emulsiyonlar.pdf (Erişim tarihi 5 Mayıs 2009).

Ertekin, B., 2019. Gıda ambalajlarında nanoteknolojinin sağladığı yararlar. ASD Uluslararası Ambalaj Kongresi'nde sunulmuştur. İstanbul, Türkiye.

Espitia, P.J.P., Otoni, C.G., 2018. Nanotechnology and Edible Films for Food Packaging Applications. In: Ahmed S. (Eds) Bio-based Materials for Food Packaging. Springer, Singapore.

Fernandez, A., P. Picouet, E., Lloret, 2010. Reduction of the spoilage-related microflora in absorbent pads by silver nanotechnology during modified atmosphere packaging of beef meat. Journal of Food Protection, 73 (12): 2263-9.

Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., Lagos, C., 2016. Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. Journal of Sensors 8 pages.

Garti, N., Benichou, A., 2004. Recent developments in double emulsions for food applications. In "Food Emulsions", 4th ed., Friberg, S., Larsson, K., Sjoblom, J., Eds., Marcel Dekker, New York, NY.

Gökırmaklı, Ç., Bayram, M., 2018. Gıda için gelecek öngörüleri: Yıl 2050. Akademik Gıda, 16 (3): 351-360.

Guttoff, M., Saberi, A.H, McClements, D.J., 2015. Formation of vitamin D nanoemulsion-based delivery systems by spontaneous emulsification: factors affecting particle size and stability. Food Chemistry, 171: 117-122.

Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., Kaymak-Ertekin F. 2013. Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu üzerine etkisi. Akademik Gıda, 11 (2).

Hamad, A.F., Han, J.H., Kim, B.C., Rather, I.A., 2018. The intertwine of nanotechnology with the food industry. Saudi Journal of Biological Sciences 25 (1), 27-30.

Handford, C.E., Dean, M., Henchion, M., Spence, M., Elliott, C.T., Campbell, K., 2014. Implications of nanotechnology for the agri-food industry: Opportunities, benefits and risks. Trends in Food Science and Technology 40 (2), 226-241.

Hulla, J.E., Sahu, S.C., Hayes, A.W., 2015. Nanotechnology: History and Future. Human & Experimental Toxicology 34 (12), 1318-1321.

Jafari S.M., Paximada P, Mandala I, Assadpour E, Mehrnia M.A. 2017. Encapsulation by nanoemulsions. In SM Jafari (Ed.), Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries. Academic Press, 36-73 pp.

Jin, W., Xu, W., Liang, H., Li, Y., Liu, S., Li, B., 2016. Nanoemulsions for food: properties, production, characterization, and applications. In Am Grumezescu (Ed.), Emulsions, Elsevier. 1-36 pp.

Joseph, T., Morrison, M., 2006. Nanotechnology in agriculture and food. A nanoforum report, May. http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report61.pdf. 1-14.

Karadag, A., Y. Xiaoqing, B. Ozcelik & Q. Huang, 2013. Optimization of preparation conditions for quercetin nanoemulsions using response surface methodology. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61: 2130-2139.

Ketenoğlu, O., 2010. Yüksek Kayma Hızında Parçalanan Bazı Bitkisel Liflerin Emülsiyon Stabilitesine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Kim, S.O., T.V.A. Ha, Y.J. Choi & S. K., 2014. Optimization of homogenization evaporation process for lycopene nanoemulsion production and ıts beverage applications. Journal of Food Science, 79 (8): 1604-1610.

Komaiko, S.J., McClements, D.J., 2016. Formation of food grade nanoemulsions using low energy preparation methods: A review of available methods. Comprehensive reviews in food science and food safety, 15 (2): 331-352.

Lee, S.J., McClements, D.J., 2010. Fabrication of protein-stabilized nanoemulsions using a combined homogenization and amphiphilic solvent dissolution/evaporation approach. Food Hydrocolloids, 24 (6): 560-569.

Mason, H.G., Wilking, J.N., Meleson, K., Chang, C.B., Graves, S.M., 2006. Nanoemülsions: formation, structure and physical properties. J of Phys: Condens Matter, 18, 635- 666.

McClements, D.J., 2010. Emulsion Design to Improve the Delivery of Functional Lipophilic Components. Annual Review of Food Science and Technology, 1 (1): 241-269.

McClemments, D.J., 2021. Advances in edible nanoemulsions: Digestion, bioavailability, and potential toxicity, Progress in Lipid Research, 81, 1-14.

McClemments, D. J., Takhistov, P., Weiss, J., 2006. Functional materials in food nanotechnology. J Food Sci, 71 (9), 107-116.

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.

Mihindukulasuriya, S.D.F., Lim, L.T., 2014. Nanotechnology development in food packaging: a review. Trends in Food Science and Techology 40: 149-167.

Momin JK, Jayakumar C, Prajapati JB. 2013. Potential of nanotechnology in functional foods. Emir J Food Agric, 25 (1): 10-19.

Moore, M.N., 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? Environ Int i32, (8): 967-976.

Neethirajan, S., Jayas, D.S., 2011. Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. Food and Bioprocess Technology 4 (1), 39-47.

Ni, S., C. Hu, R. Sun, G. Zhao & Q. Xia, 2017. Nanoemulsions-based delivery systems for encapsulation of quercetin: preparation, characterization, and cytotoxicity studies. Journal of Food Process Engineering, 40: 1-13.

Ostertag, F., Weiss, J., McClements, D.J., 2012. Low-energy formation of edible nanoemulsions: Factors influencing droplet size produced by emulsion phase inversion. Journal of Colloid and Interface Science, 388 (1): 95-102.

Pascual-Pineda, L.A., E. Flores-Andrade, M. Jiménez-Fernández & C.I. Beristain, 2015. Kinetic and thermodynamic stability of paprika nanoemulsions. International Journal of Food Science and Technology, 50: 1174-1181.

Paximada, P., Tsouko, E., Kopsahelis, N., Koutinas, A.A., Mandala, I., 2016. Bacterial cellulose as stabilizer of o/w emulsions. Food Hydrocolloids, 53: 225-232.

Piorkowski, T.D., McClemments, D. J., 2014. Beverage emulsions: Recent developments in formulation, production and applications. Food Hydrocolloids, 42 (5): 41.

Pogarska, V., R. Pavlyuk, R. Tauber, A. Aleksey, A. Berestova, T. Kravchuk, T. Stukonozhenko & I. Kakadii, 2017. Development of the extraction method of inactive forms of pectin substances from fruits to easy-digestible active form during the obtaining of nanofood. EUREKA: Life Sciences. 6: 57-64.

Polat, S., Fenercioğlu, H., 2014. Gıda ambalajlamasında nanoteknoloji uygulamaları: İnorganik nanopartiküllerin kullanımı. Gıda, 39 (3): 187-194.

Quintanilla-Carvajal, M.X., Camacho-Díaz, B.H., Meraz-Torres, L.S., Chanona-Pérez, J.J., Alamilla-Beltrán, L., Jimenéz-Aparicio, A., 2010. Nanoencapsulation: A new trend in food engineering processing. Food Enginering Reviews 2 (1), 39-50.

Qureshi, M.A., Karthikeyan, S., Karthikeyan, P., Khan, P.A., Uprit, S., Mishra, UK., 2012. Application of nanotechnology in food and dairy processing: An overview, Pak J Food Sci, 22 (1): 23-31.

Ramsden, j., 2014. Applied Nanotechnology. William Andrew Publishing: Amsterdam, The Netherlands, 211 pp.

Razavi, R., R.E. Kenari, J. Farmani & M. Jahanshahi, 2020. Fabrication of zein/alginate delivery system for nanofood model based on pumpkin. International Journal of Biological Macromolecules, 165: 3123-3134.

Roco, M.C., 2007. National nanotechnology initiative past, present, future. In Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology, Goddard III WA, Brenner D.W., Lyshevki S.E., lafrate G.J., Taylor & Francis, USA, 3 (1):3- 21.

Saka, E., Terzi Gülel, G., 2015. Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi, 26 (2): 52-57.

Santillán-Urquiza, E., M.Á. Méndez-Rojas & J.F. Vélez-Ruiz, 2017. Fortification of yogurt with nano and micro sized calcium, iron and zinc, effect on the physicochemical and rheological properties**.** Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology, 80: 462-469.

Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H., 2017. Nanotechnology: An Untapped resource for food packaging. Frontiers in Microbiology 8: 1735.

Silva, H.D., Cerqueira, M.Â., Vicente, A.A., 2012. Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. Food and Bioprocess Technology 5 (3), 854-867.

Sozer, N, Kokini J.N., 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. Trends in Biotechnology, 27 (2): 1-8.

Sürengil, G., & B. Kılınç, 2011. Gıda ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. Journal of Fisheries Sciences.com., 5 (4): 317-325.

Tarhan, Ö., Gökmen, V., Harsa, Ş.,2010. Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. Gıda, 35 (3), 219-225.

Thiruvengadam, M., Rajakumar, G., Chung, I.M., 2018. Nanotechnology: current uses and future applications in the food industry. 3 Biotech 8 (1),74.

Tontul, İ., 2019. Gıda Endüstrisinde Nanoenkapsülasyon Teknikleri. Turkish Journal of Agriculture-Food Science Technology*,* 7 (2): 220-233.

Var Öngel, I., Sağlam, S., 2015. Gıda endüstrisinde Nanoteknoloji uygulamaları. Gıda, 40 (2): 101-108.

Walia, N. & L. Chen, 2020. Pea protein based vitamin D nanoemulsions: fabrication, stability and in vitro study using Caco-2 cells. Food Chemistry, 305: 1-11.

Walker, R., Decker, E.A., McClements, D.J., 2015. Development of food-grade nanoemulsions and emulsions for delivery of omega-3 fatty acids: opportunities and obstacles in the food industry. Food & function*,* 6 (1): 41-54.

Walz, E., Gräf, V., Greiner, R., 2017. Potential Economic Impact of Engineered Nanomaterials in Agriculture and the Food Sector. In: Nanotechnology in Agriculture and Food Science. Eds: Axelos M.A.V. and Van de Voorde M., Pages: 363-372, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weiheim, Germany.

Yılmazer, M. & F. Altay, 2014. Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar ve faz değişim materyalleri. Gıda, 39 (6): 371-378.

Youssef A.M., El-Sayed, S.M., 2018. Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future Outlook. Carbohydydrate Polymers 193: 19-27.

Zambrano-Zaragoza, M.L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T.F., Mendoza-Elvira, S. et al., 2018. Nanosystems in edible coatings: A novel strategy for food preservation. International Journal of Molecular Sciences 19 (3), 705.