



NANOTEKNOLOJİNİN YENİLEBİLİR FİMLERE UYGULANMASI

Kadriye ŞEN, Kadir Gürbüz GÜNER*

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Yenilebilir Film,
Nanoteknoloji,
Nanomateriyal.*

Nanoteknoloji, yenilebilir filmlere spesifik işlevsellik kazandırması nedeniyle son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Yenilebilir filmlerde sağladıkları antimikrobiyal etkilerin yanı sıra; termal, mekanik ve gaz geçirgenliği gibi fiziksel özellikleri de geliştirmek amacıyla kullanılan nanoparçacıklar, birçok çalışmanın konusu olmuştur. Yenilebilir filmlerin üretiminde nanoteknolojik yöntemlerin kullanımı kapsamında; nanoemülsiyonlar, nanokapsüller, nanolaminatlar, nanoteller ve polimer nanokompozitler gibi farklı yaklaşımlar uygulanabilmektedir. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen yenilebilir filmler; biyolojik olarak parçalanabilme ve çevre dostu olma özelliklerinden dolayı, geleneksel plastik bazlı gıda ambalajlarına kıyasla, ekolojik bir avantaj da sağlamaktadır. Nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmiş yenilebilir filmler, gıda endüstrisinde pek çok avantajı beraberinde getiren yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu yeni teknolojinin gıda sanayinde daha yaygın şekilde kullanılabilmesi için büyük ölçekli üretim yöntemlerine adapte edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bununla birlikte, kullanılan nanomateriyallerin toksisitesi ve gıda güvenliği ile ilgili sorunlar yaratma potansiyelleri de ihmal edilmemeli ve detaylı olarak incelenmelidir. Bu derlemede, son yıllarda nanoteknolojinin yenilebilir filmlerde kullanımı hakkında detaylı bir araştırma yapılarak bu yeni teknolojinin avantaj ve dezavantajlarının yanı sıra gıdalardaki etkileri de özetlenmiştir.

APPLYING OF NANOTECHNOLOGY TO EDIBLE FILMS

Keywords

*Edible Films,
Nanotechnology,
Nanomaterials.*

Abstract

In recent years, nanotechnological applications on edible films have a lot of interest since they bring specific and functional properties to the products in which they are used. Many studies have been conducted on nanoparticles, which are used to improve physical properties such as thermal, mechanical, and gas permeability, as well as the antimicrobial effects they provide in edible films. Within the scope of the use of nanotechnological methods for the production of edible films; different approaches can be applied such as nanoemulsions, nanocapsules, nanolaminates, nanowires and polymer nanocomposites. Edible films are produced using nanotechnology; due to their biodegradability and eco-friendly properties, also ensure an environmental advantage compared to traditional plastic-based food packaging. Edible films developed using nanotechnology is an innovative approach that has numerous advantages in the food industry. In order for this novel technology to be used more widely in the food industry, large-scale production solutions need to be adapted. Nevertheless, the toxicity of the nanomaterials used and their potential to cause food safety problems should not be neglected and should be thoroughly examined. In this review, a detailed examination of the use of nanotechnology in edible films in recent years has been conducted, and the advantages and disadvantages of this new technology as well as its effects on food systems have been summarized.

Alıntı / Cite

Şen, K, Güner, K. G., (2023). Nanoteknolojinin Yenilebilir Filmlere Uygulanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 411-425.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Şen, 0000-0002-9946-917X
K. G. Güner, 0000-0002-6676-560X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.05.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.11.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: kguner@nku.edu.tr , +90-282-250-2167

APPLYING OF NANOTECHNOLOGY TO EDIBLE FILMS

Kadriye SEN, Kadir Gürbüz GUNER†

Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Tekirdağ, Turkey

Highlights

- The use of nanotechnology to produce edible biofilm represents a novel approach.
- Nanotechnology can enhance the properties of edible biofilms, making them more resistant to moisture, oxygen, and microbial growth.
- Edible films, made with nanotechnology, also have biodegradability and eco-friendly properties
- Although nanotechnology has many advantages, a thorough examination of potential toxicity and food safety risks is necessary.

Purpose and Scope

The purpose of this review article is to provide a comprehensive overview of the applications of nanotechnology in the production of edible biofilms, as well as their advantages and disadvantages. The scope of this review encompasses various types of edible biofilms and nanotechnological methods utilized for their production, including their physical and chemical properties, potential applications, and the challenges associated with their implementation. By exploring the latest developments in this field, this review aims to provide valuable insights into the potential benefits of using nanotechnology for the production of edible biofilms, as well as the potential risks and limitations that need to be addressed. Ultimately, this review seeks to contribute to the growing body of knowledge on the applications of nanotechnology in the food industry and to identify areas for further research and development.

Design/methodology/approach

This review article utilizes a systematic approach to gather relevant information on the applications of nanotechnology in the production of edible biofilms. The articles included in this review were selected based on their relevance to the topic, and their quality and reliability are evaluated using established criteria. The data collected from these sources were synthesized and analyzed to provide an overview of the current state-of-the-art of nanotechnology in the production of edible biofilms and to identify the key factors that influence their properties and potential applications. Through this rigorous methodology, this review aims to provide a comprehensive and reliable assessment of the current state-of-the-art of nanotechnology in the production of edible biofilms, as well as their advantages and limitations.

Findings

Numerous investigations have established that edible films produced via nanotechnology exhibit favorable properties, such as notable antibacterial and antioxidant activity, efficient ultraviolet-light blocking capabilities, appropriate moisture and gas obstruction, and carrier functionality for aroma and flavor constituents. Due to the sophisticated architecture of nanomaterials and their potential advantages in the realm of food production, the implementation of nanotechnology-derived comestibles into the food industry presents a promising avenue for addressing current issues and fostering long-term economic advantages.

Originality

The present review article represents a significant contribution to the scientific literature, as it provides a thorough and up-to-date analysis of the various applications of nanotechnology in the production of edible biofilms, along with their advantages and disadvantages. Notably, the review article has taken into account the most recent research articles published in this field, and has integrated their findings into a comprehensive and cohesive framework. Overall, this original review article are expected to advance the state-of-the-art in this novel and rapidly evolving field.

† İlgili yazar / Corresponding author: kguner@nku.edu.tr , +90-282-250-2167

1. Giriş (Introduction)

Yenilebilir film materyallerinin yeni kaynakları ve uygulama teknikleri; gelecek vaat eden potansiyelleri nedeniyle, yenilikçi gıda paketlenme sistemleri alanında oldukça ilgi çekmektedir (Galus vd., 2020). Yenilebilir filmlerde kullanılan materyaller açısından nanoteknoloji (NT) kapsamında yapılan uygulamalar, bu alandaki en yenilikçi yaklaşımlardandır. Yenilebilir filmlerde NT uygulamaları; yenilebilir filmlere spesifik işlevsellik kazandırmak için, filmlere nanomateryalin (NM) ince bir film oluşturacak şekilde ilave edilerek, nano boyutta üretilmesini kapsar (Mkandawire ve Aryee, 2018). Parçacık boyutunu nanometrik ölçeğe düşürmek; daha büyük parçacık birimlerinden oluşan sistemlere kıyasla, materyallere farklı ve gelişmiş özellikler kazandırır (Zambrano-Zaragoza vd., 2018). Genel olarak NM'in avantajı; çeşitli mekanik, kimyasal, elektriksel ve manyetik özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi için olanak sağlayan, içsel yüksek yüzey alanı/hacim oranlarında yatmaktadır (Whitesides, 2005). Ayrıca NM'in, matris içinde antimikrobiyal ajanların nüfuzunu arttırdığı belirtilmiştir (Hetrick vd., 2009, Fulaz vd., 2019).

T kullanılarak elde edilen yenilebilir filmler; gıda kalitesini paketlenme, taşıma işlemleri sırasında koruyabilen, gıdanın son tüketiciye kadar bozulmadan ulaşmasını sağlayabilen, daha iyi bariyer özelliklerine ve antimikrobiyal aktiviteye sahip, hafif ve en önemlisi gıda ile birlikte tüketilebilen ambalaj malzemeleridir (Jeevahan ve Chandrasekaran, 2019). NT kullanılarak antimikrobiyal özelliklere sahip yenilebilir filmlerin üretilmesi; meyve ve sebzeleri koruması ya da biyoaktif nanokapsülasyon gibi uygulama alanlarında umut verici sonuçlara işaret etmektedir (Durán ve Marcato, 2013). Bu derleme çalışmasında; NT'nin yenilebilir filmlerde kullanılması, uygulamalarda kullanılan NM çeşitleri ve bu uygulamaların avantajları ile dezavantajları hakkında güncel bilgilerin yanı sıra; son dönemde yenilebilir film üretiminde NT uygulamaları ile ilgili yapılmış çalışmaların geniş bir özeti de sunulmuştur.

2. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamaları (Nanotechnology applications in edible films)

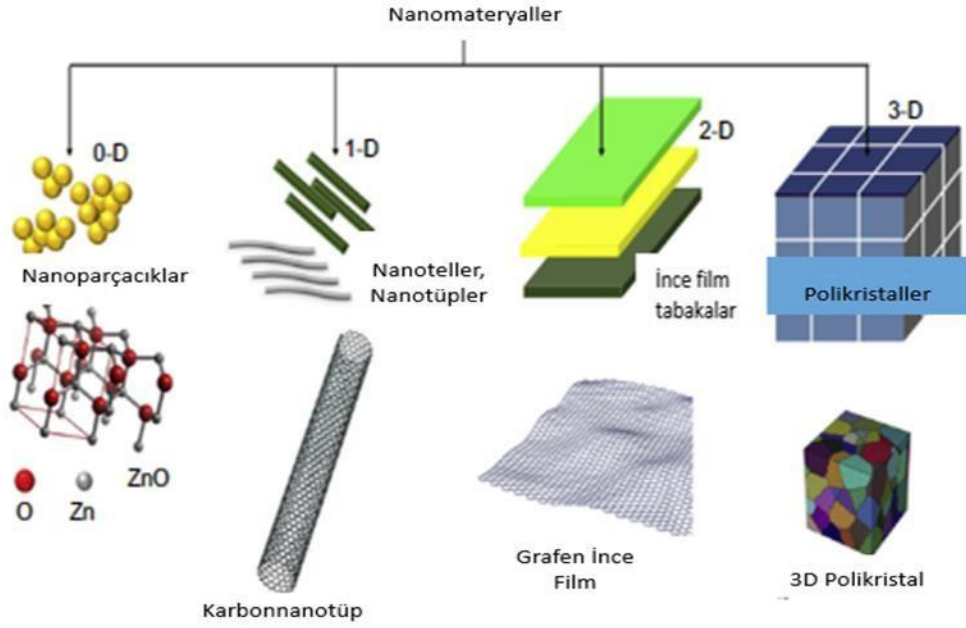
Ambalaj polimerlerine nano ölçekli killerin (nanokil) eklenmesiyle, gaz bariyeri özelliklerinin geliştirilebilmesinin keşfi, yirmi yıl önce ortaya çıkmıştır (Yin ve Tsai, 2015). Son yirmi yılda NT konusunda; tokosisite, mevzuat sorunları, müşteri şüphesi gibi sorunlar olmasına karşın; nanoselüloz, nanokil kompozitler ve katman-katman teknolojileri gibi çeşitli nanoteknolojik uygulamalarda ilgi çekici gelişmeler gerçekleşmiştir (Lindström ve Österberg, 2020). İlk olarak Iijima (1991) tarafından geliştirilen karbon nanotüpler, benzersiz mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olmaları sebebiyle, son yıllarda polimerleri güçlendirme amacıyla kullanılmaktadırlar (Tjong, 2006; İşleyici vd., 2019). Benzer şekilde günümüzde yenilebilir nanokompozit filmlerin üretiminde, biyofilm solüyonu ve biyopolimer matrisin NM ile güçlendirilmesi hedeflenmektedir (Ribeiro vd., 2021).

Yenilebilir film üretiminde kullanılan NM'ler; bariyer malzemesi olarak kullanım amacıyla, gıdaların raf ömrünü olumsuz etkileyen karbondioksit (CO₂) veya oksijen (O₂) gibi gazların konsantrasyonunu azaltmak amacıyla, ayrıca mikroorganizmaların neden olabileceği bozulmaları önlemek için filmlere dahil edilmektedirler (Yoksan ve Chirachanchai, 2010; Joye vd., 2016). Demir oksit (FeO), gümüş oksit (Ag₂O), çinko oksit (ZnO), karbon oksitler, magnezyum oksit (MgO), titanyum dioksit (TiO₂) ve silikon dioksit (SiO₂) gibi bazı metallerin ve metaloksitlerin nanoparçacıklarının (NP) belirli koşullar altında antimikrobiyal gıda bileşenleri olarak kullanımı yaygındır (He vd., 2019; Chawla vd., 2021). Bunun yanı sıra; UV koruma aktivitesi ve oksidasyon önleme etkisi nedeniyle de gıda ambalajlarının özelliklerini iyileştirmek için filmlere eklenirler (Becerril vd., 2020; Primožič vd., 2021).

2.1. Uygulamalarda kullanılan nanomateryaller (Nanomaterials used in applications)

NM'ler farklı yapısal ve kimyasal özelliklere sahip olabilirler. Boyutsal özelliklerine göre NM'ler, Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir ve aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Pathakoti vd., 2017; Şahin, 2020).

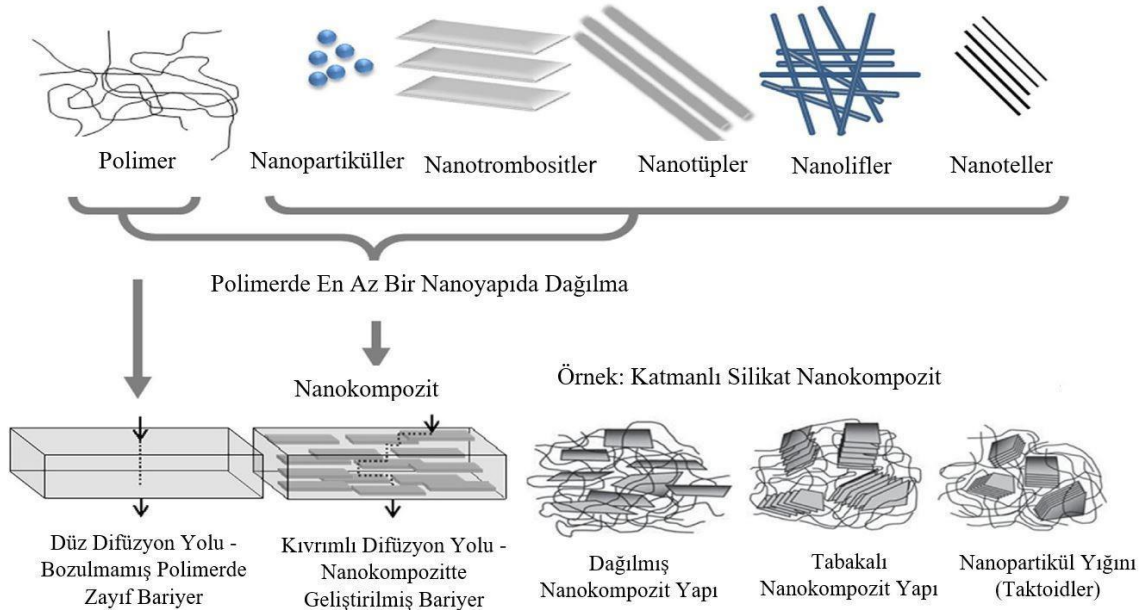
- Sıfır boyutlu (0D) NM'ler: NP'ler, kuantum noktaları, kuantum kümeleri ve fullerenerler
 - Tek boyutlu (1D) NM'ler: Nanoçubuklar, nanoteller ve nanotüpler
 - İki boyutlu (2D) NM'ler: Nanofilmler, nanoplakalar, nanolevhalar
 - Üç boyutlu (3D) NM'ler: Nanokompozitler, polikristaller ve dendrimerler
- Üretilen en yaygın NM'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre ise aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler (Fuente-Salcido vd., 2018);
- Karbon bazlı NM'ler
 - Metal bazlı NM'ler: kuantum noktalar, nano gold, nano gümüş ve TiO₂ gibi metal oksitler
 - Dendrimerler: belirli kimyasal işlevler için dallı birimler-zincir uçlarından üretilen nano ölçekli polimerler
 - Kompozitler: diğer NP'lerle ya da büyük, yığın tipi malzemelerle birleştirilmiş NP'ler



Şekil 1. Sıfır boyutlu (0D), bir boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) NM'in şematik gösterimi (Schematic representation of zero-dimensional (0D), one-dimensional (1D), two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) nanomaterials) (Malhotra ve Ali, 2018).

Nanoemülsiyonlar, nanokapsüller, nanolaminatlar, nanoteller ve polimer nanokompozitler; NT'nin yenilebilir film üretiminde kullanım şekillerindedir. Nanolaminatların işlevsel bileşenleri için malzemeler; lipitler ve killer (nem bariyerleri), karbonhidratlar gibi biyopolimerler (gaz bariyeri) veya NP'ler ve emülsiyonlaştırılmış nanodamlacıkları (tat, doku veya görünüm geliştiriciler) içermektedir (Mkandawire ve Aryee, 2018). Nanoemülsiyonlar, 50 nm ile 100 nm arasında değişen damlacık boyutuna sahip kolloidal dispersiyonlardır (Pathakoti vd., 2017). Gıda ürünlerinin oksidasyonunu ve ayrışmasını önlemek için, biyolojik olarak aktif farklı moleküllerin ve NP'lerin entegrasyonuna izin verirler. Ayrıca fenolik nanoemülsiyonlar bazı gıdaların, özellikle de yağlı gıdaların bozulmasına ve parçalanmasına karşı koruma kabiliyetine sahiptirler (Bohlooli ve Eskandari, 2021). Aromalı yağlar, salata sosları, tatlandırıcılar gibi gıdaları üretmek için kullanılırlar. Ürünün görünümünden ve lezzetinden ödün vermeden, ekipmanın dekontaminasyonu ve yüksek berraklıkta bir görünüm gibi birçok avantajı sunarlar (Pathakoti vd., 2017).

Nanokompozitler, yenilebilir film üretiminde en sık kullanılan NM'lerdendir. Fazlardan birinin; en az bir, iki veya üç boyutta 100 nm'den küçük olduğu, nanodolgu maddeleriyle güçlendirilmiş polimer matrisleridir (Bastarrachea vd., 2011; Pathakoti vd., 2017). TiO_2 , FeO, SiO_2 , karbon oksitler, MgO, ZnO, bakır (Cu), bakıroksit (CuO) ve gümüş (Ag) bazlı nanodolgu maddeleri, antimikrobiyal özelliklerinden dolayı nanokompozit üretiminde kullanılmaktadır (Lee, 2010; Pathakoti vd., 2017). Kitosan NP'leri; genellikle filmlerin polimer işlenebilirliğini geliştirmek ve ayrıca çözünürlük, antimikrobiyal aktivite gibi bazı özelliklerini değiştirmek için kullanılmaktadırlar (Anitha vd., 2009; Divya vd., 2018). SiO_2 NP'leri; farklı tipteki polimer ortamların mekanik özelliklerine, engel teknolojisi aracılığıyla katkıda bulunmaktadırlar (Sharma vd., 2017; Wahab vd., 2021). Nanokil; bariyer özelliklerini, yapıyı iyileştirebildiği ve biyopolimerin mekanik mukavemetini çok düşük kil içeriğiyle sağladığı için, biyobazlı polimer takviyelerinin temel dolgu maddesi olarak kabul edilir (Bhuyan vd., 2010; Mallakpour ve Dinari, 2012; Chaudhary vd., 2020). Polisakkarit filmlerin termal, mekanik ve gaz bariyer özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan NM'ler; ZnO, TiO_2 ve Ag NP'ler, montmorillonit (MMT), kaolinit gibi katmanlı silikat nanokillerdir (Youssef ve El-Sayed, 2018). En yaygın kullanılan nanokil malzemelerinden olan montmorillonit; gaz bariyer özelliklerini geliştirmek için polimerlere dahil edilir. Şekil 2'de ifade edildiği gibi, nanokompozitlerin hazırlanması; NP'ler ve polimer arasındaki uygun etkileşim sonucu oluşan malzeme işlevselliğini geliştirmek için NP'lerin polimer matrislerine dahil edilmesiyle gerçekleşir (Condés vd., 2016).



ekil 2. Nanokompozitlerin hazırlanması ve bariyer özelliklerinin iyileştirilmesi için genel prosedürün şematik gösterimi (Schematic representation of the general procedure for preparing nanocomposites and improving barrier properties) (Mihindukulasuriya ve Lim, 2014).

Kumar vd., (2020); nanokompozit filmler / kaplamalar için üretim tekniklerini şu şekilde sınıflandırmıştır:

- Solüsyon dökme yöntemi: Kolaylığından dolayı kitosan bazlı filmler ve kaplamaları laboratuvar ölçeğinde hazırlamak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Solüsyon dökme yöntemi basit ve düşük maliyetli bir yöntem olmasına rağmen bu yöntemle film oluşturma prosesinin endüstriyel üretime adaptasyonu çeşitli zorluklar doğurabilme potansiyeline sahip olduğu için daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir.
- Katman katman birleştirme yöntemi (LBL): Farklı polimerlerin fonksiyonel özelliklerini birleştirebilen, nanokompozit film imalatında materyal özellikleri ve işlevselliğini etkin bir şekilde kontrol etmek için keşfedilen çok yönlü bir tekniktir. Herhangi bir sofistike enstrümana ihtiyaç duymayan çok bileşenli filmlerin imalatı için kullanılan bir yöntemdir. Katman-katman birleştirme yönteminde esas olarak yüzey modifikasyonu; zıt yüklerle sahip alternatif polielektrolitlerin katı destek üzerinde karşılıklı çekimleri neticesinde birikmesi ile oluşur. Yüksek ölçekli kaplama proseslerinde kullanılabilir bir yöntemdir.
- Ekstrüzyon yöntemi: Esas olarak geleneksel ticari plastik ambalaj filmlerinin üretiminde kullanılır. Ekstrüzyon, daha hızlı işlem süresi ve daha düşük enerji tüketimi nedeniyle solüsyon döküm yöntemlerine göre sık tercih edilir. Ekstrüzyon işlemi genellikle iyi bir termal stabiliteye ve kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip filmler elde edilmesini sağlar.
- Kaplama / Püskürtme yöntemi: Kaplama işlemi genellikle; meyve ve sebzeler, balık, et gibi taze gıdaların raf ömrünü arttırmak için bu gıdaların yüzeyine uygulanır. Bu yöntem; film çözeltilerine gıda materyallerinin daldırılması, boyama, dökme, püskürtme metotlarıyla uygulanabilmektedir. Kaplama; gıdanın geliştirilmiş kompozit çözeltilere birkaç dakika süreyle daldırılması, ardından fazla çözeltinin drenajı ve sonrasında da sıcaklık ve nem kontrollü şartlarda kurutulmasıyla yapılır. Daldırma ve püskürtme teknikleri; basit, nispeten ucuz ve birçok gıda işleme hattında yaygın olarak uygulanabilir olmasına rağmen; bu tür işlemler, işlenmiş gıdaların duyuşal özelliklerini tehlikeye atabilir. Bu nedenle; daldırma/püskürtme yöntemleri tercih edilmeden önce, gıdanın duyuşal profiline olan uygunluğunun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

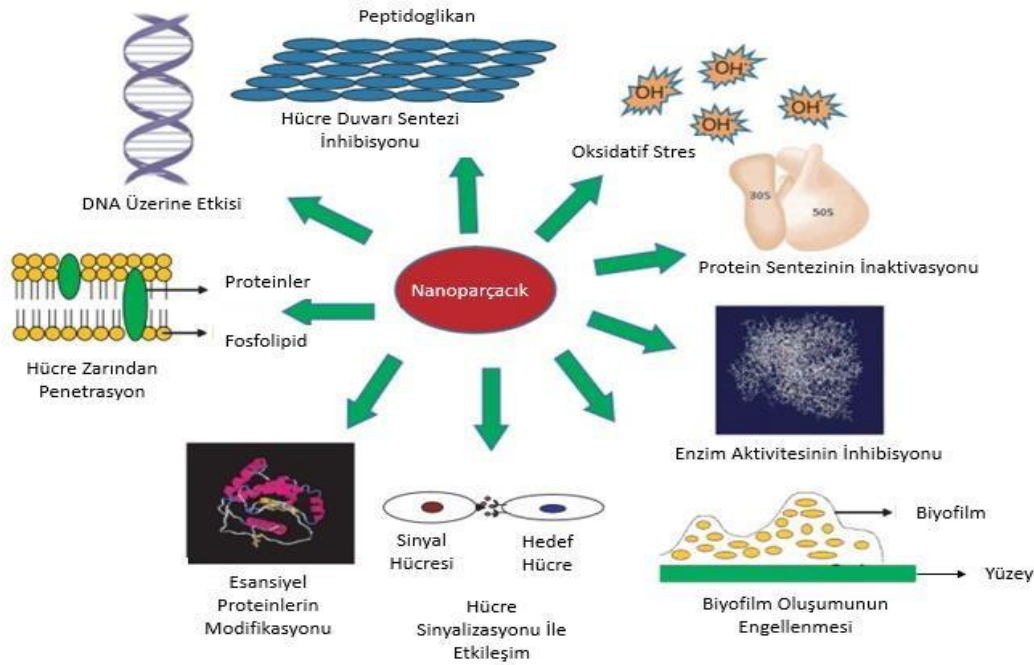
3. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamalarının avantajları (Advantages of nanotechnology applications in edible films)

Yenilebilir filmlere eklenen nanokompozit materyaller; geleneksel kompozitlere kıyasla daha yüksek nitelikte termal, mekanik ve biyolojik özellikler sağlarlar (Ananda vd., 2017). Nanoboyutta malzemeler ile yenilebilir filmlerin; gazlar, bazı uçucu bileşenler ve neme karşı bariyer özellikleri, UV koruması, ısıl direnç, mekanik mukavemet ve sızdırmazlık gibi çeşitli özellikleri gelişmektedir (Dholariya vd., 2021). Yapılan çeşitli çalışmalarda da nanoteknoloji uygulamaları kullanılarak üretilen yenilebilir filmlerin, su buharı

geçirgenliği,

optik özellikler, mekanik direnç, uzama mukavemeti gibi özellikler açısından daha iyi niteliklere sahip oldukları ve daha yüksek antibakteriyel, antifungal ve antioksidan aktivite gösterdikleri tespit edilmiştir. Son yıllarda bu konuda oldukça fazla çalışma yapılmış olup bu çalışmaların bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Yenilebilir filmlerde nanoboyuttaki antimikrobiyal bileşenlerin yüzey temas alanlarının fazla ve reaktivitesinin de yüksek olması, mikro veya makro ölçekli antimikrobiyal bileşenlere göre mikroorganizmalara daha etkin bir şekilde inaktivasyon sağlamaktadır (Radusin vd., 2016; Çelebi Sezer ve Bozkurt, 2021). Farklı NP'lerin antimikrobiyal aktivitesiyle ilgili çeşitli teoriler ve açıklamalar ileri sürülmüştür (Şekil 3) (Singh vd., 2014). Antimikrobiyal etkideki farklılıklar; NP'lerin boyutu, şekli, konsantrasyonu, berraklığı ve yüzey kimyasının yanı sıra; serbest biyosidal metal iyonlarını boşaltma kapasiteleriyle ilişkilidir (Xing vd., 2019). Metal bazlı NP'lerin mikro boyutlu muadillerine göre çok daha iyi antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Colon vd., 2006; Jones vd., 2008; Ramasamy ve Lee, 2016). NP'lerin antimikrobiyal mekanizmalarından biri; bakteri hücre duvarına tutunma ve daha sonra ona nüfuz etme kabiliyeti nedeniyle, hücre zarında hücre ölümüne yol açan yapısal değişikliklere neden olmasıdır (Sondi ve Salopek-Sondi, 2004; Singh vd., 2014). Başka bir mekanizma ise; NP'ler tarafından, hücre zarını gözenekli hale getirerek ve hücre zarında hasara yol açarak hücre ölümüne sebep olan, serbest radikallerin üretilmesidir. NP'lerin bakterilerin sinyal iletimini de değiştirdiği bilinmektedir (Singh vd., 2014).



Şekil 3: Nanoparçacıkların antimikrobiyal aktivite mekanizmaları (Mechanisms of antimicrobial activity of nanoparticles) (Singh vd., 2014).

Nanoboyutta malzemelerin kullanımı; gıda kaynaklı patojenlerin tespitinde ve toksinlerin algılanmasında iyileşmeyi sağlamakta, aynı zamanda çoğu muadillerine kıyasla vücuttaki besin ve takviyelerin emilimini ve biyoyararlanımını arttırmakta (Lamabam ve Thangjam, 2018), plastik materyallerle üretilmiş geleneksel muadillerine kıyasla ekolojik bir avantaj da sağlamaktadır (Chawla vd., 2021). Örneğin; kitosan NP'leri toksik olmaması ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle meyve ve sebzelerin muhafazasında kullanılan önemli bir NM'dir. Kitosan NP'leri ile yapılan çeşitli çalışmalarda; çilek, papaya, hıyar, havuç, elma, turunçgil, kivi, şeftali, armut, çilek ve kiraz gibi birçok meyvenin raf ömrünü uzatma ve çürümesini kontrol etme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Ben-Shalom vd., 2003; Divya vd., 2018).

Kil NP'leri içeren biyopolimerler biyolojik olarak parçalanabilme ve çevre dostu olma özelliklerinden dolayı, geleneksel plastik bazlı gıda ambalajlarına uygun bir alternatif olarak kabul edilmektedirler. Mekanik özellikleri güçlendirmenin yanı sıra; paketlemede oksijen penetrasyonunu sınırlayarak ve karbondioksit sızıntısını önleyerek, gaz değişiminde kontrol edici bir rol oynar ve ürünün raf ömrünü uzatırlar (Han vd., 2011, Bohlooli ve Eskandari, 2021).

Nano TiO₂ partikülleri ambalajdan gıdaya geçerek gıdaya koruma sağlarlar, folyoların geçirgenliğini kontrol ederler, UV ışığını bloke ederler bununla birlikte bakteri ve küflere karşı da etkilidirler (Dholariya vd., 2021).

Farklı meyve ve sebzelerde (limon, elma ve domates), *Penicillium expansum* bozunmaya neden olmuştur; TiO₂'in fotokatalitik özelliklerinden dolayı, bu mikroorganizmaya karşı TiO₂ kaplı filmlerin kullanılması, çoğalmayı engellemiştir (Maneerat ve Hayata, 2006; Wahab vd., 2021). TiO₂'nin fotokatalitik davranışı, antimikrobiyal özelliklerini etkinleştirmekten sorumlu olan UV ışığının yanı sıra büyük ölçüde görünür ışık ışınlamasına da dayanmaktadır (Cano vd., 2017; Yemmireddy ve Hung, 2015; Li vd., 2009; Xing vd., 2019). Bitki dokuları, mantarlar ve bakteriler gibi çeşitli biyolojik ajanlar kullanılarak biyosentez yoluyla üretilen altın NP'lerin gram pozitif ve gram negatif patojenik bakteriler üstünde yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ortaya konmuştur (Das vd., 2009; Shakeel vd., 2016; İşleyici vd., 2019).

Ag NP'lerin, çeşitli patojen bakterilere ve kommensal suşlara karşı antibakteriyel aktiviteleri bilinmektedir (Kumar ve Munstedt, 2005). Antibakteriyel Ag NP'lerin etkisi; bu NP'lerin bakteriyel enzimler, DNA ve proteinlerle interaksiyona girmesinden kaynaklanır. Bu da mikroorganizmaların metabolizmasının bozulmasına neden olur (Cavaliere vd., 2015; Wahab vd., 2021). Ag NP'ler çeşitli gıda patojenleri için toksiktir. Çünkü Ag NP'ler hücre yüzeyine tutunma yoluyla, lipopolisakariti parçalayarak hücre zarı geçirgenliğini arttırmaktadır (Sondi ve Salapek-Sondi, 2004). Bu şekilde Ag NP'ler bakteri hücrelerine nüfuz edebilmekte, DNA'sına zarar verebilmektedir (Li vd., 2004) ve antimikrobiyal Ag iyonlarını serbest bırakmaktadır (Morones vd., 2005). Moleküllerdeki kükürt, oksijen veya nitrojen içeren elektron donör gruplarına bağlanmakta ve böylece adenozintrifosfat (ATP) sentezini ve DNA replikasyonunu inhibe etmekte ve sonunda hücrenin ölmesine yol açmaktadır (Bajpai vd., 2018). Ag NP'lerin elektrokatalitik aktivitesi, aktif bir gıda ambalajı bileşeni olarak yenilebilir polimerlere dahil edilerek kapsamlı uygulamalar için mükemmel antimikrobiyal özellik sağlayabilmektedir (Li vd., 2009; Davoodbasha vd., 2016).

ZnO; antibakteriyel etkileri, yüksek stabilitesi ve fotokatalitik aktivitesi nedeniyle ambalaj malzemesi özelliklerini iyileştirmede kullanılan en önemli NP'lerden biridir (Li vd., 2005; İşleyici vd., 2019). ZnO NP'ler yenilebilir filmlerde antimikrobiyal aktivite ile birlikte geçirgenlik bariyeri görevi görebilmektedir Shahabi-Ghahfarrokhi vd., 2015; Li vd., 2009; Xing vd., 2019). ZnO NP'ler geniş spektrumlu bakteri türlerinin çoğalmasına karşı güçlü bir inhibisyon göstermektedirler (Azam vd., 2012). ZnO nanoyapılarının *Escherichia coli* ve *Bacillus atrophaeus*'a karşı diğer metal oksitlerden daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Shi vd., 2014; Chaudhary vd., 2020). %5'e kadar silikon oksit NP'lerinden oluşan nanokompozitlerin, fiziksel ve mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşmektedir (Salami-Kalajahi vd., 2012). Silikon oksit NP'ler, gazların uzaklaşması için bir çıkış alanı oluşturmak amacıyla gıda ambalaj malzemelerinde dolgu maddeleri olarak kullanılır (Farhoodi, 2016; Wahab vd., 2021).

Tablo 1. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen yenilebilir filmler üzerine yapılan çeşitli çalışmalar (Various studies on edible films produced using nanotechnology)

Kullanılan nanomateryal	Film hazırlama yöntemi	Uygulanan gıda	Bulgular	Referans
Kitosan/zein nanoselüloz	Solüsyon dökme yöntemi	Mango	Nanokompozit filmin; mangonun 25 °C'de depolanması sırasında sararmayı geciktirdiği solunum hızını kontrol altına aldığı, ağırlık kaybı ve C vitamini kaybını önleme özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir.	(Xiao vd., 2021)
Nano SiO ₂ ve nano TiO ₂	Kaplama yöntemi	Yaban mersini	Nano TiO ₂ içeren filmlerin ağırlık kaybı ve titrasyon asitliği açısından en uygun filmler olduğu, nano SiO ₂ içeren filmlerin mezofilik aerobik mikroorganizmaların, maya ve küflerin gelişimini minimize ettiği tespit edilmiştir.	(Li vd., 2021)
Nano SiO ₂	Kaplama yöntemi	Kavun	NM içeren filmlerin; taze kesilmiş kavunlarda mikrobiyolojik kaliteyi arttırdığı, rengi, C vitaminini koruduğu, peroksidaz aktivitesine etkili olduğu tespit edilmiştir.	(Sami vd., 2021)
Nanolipozom ve nanokitosan	Kaplama yöntemi	Sardalya filetosu	NM'nin düşük pH ve peroksit değerleri sağladığı, duyuşal özellikleri iyileştirdiği, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri arttırdığı tespit edilmiştir.	(Homayonpour vd., 2021)

Sodyum MMT kil	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Sarımsak içeren nişasta nanofilmler; mekanik stabilite, esneklik ile <i>Salmonella</i> ve <i>Staphylococcus aureus</i> bakterilerine karşı antibakteriyel direnç göstermiştir. Kurkumin ve oktafenil-POSS içeren filmler ise bir inhibisyon bölgesi oluşturmamıştır. Kurkumin ve oktafenil-POSS içeren nanofilmler yüzey aktivitesi gösterirken, sarımsak içeren nanofilmler yüzey aktivitesi göstermemiştir.	(Baysal ve Doğan, 2020)
Nanoselüloz	Solüsyon dökme yöntemi	Kestane	Nanokompozit filmin güçlü su tutma, yüksek mekanik özellikler ve bakteriyostatik etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Nanokompozit filmlerin, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> ve Çin kestanesi fungusunun gelişmelerini engellediği ve fungusun misel yapısını yok ettiği tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin kestanelerin 25 °C'de 16 günlük depolanması sırasında ağırlık kaybını, küf oranını ve kireçlenme indeksini etkili bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir.	(Huang vd., 2020)
Nişasta NP'ler /κ-karragenan	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma ve yoğurt	Saf nişasta bazlı filmler, mumlu mısır nişastası NP'leri/κ- karragenan ve salisilik asit ile birleştirilmiş nişasta bazlı kompozit filmler ile karşılaştırıldığında; gerilme direnci, su buharı bariyeri ve termal stabilite özelliklerinin önemli ölçüde arttığı, şeffaflık ve kopma esnekliğinin hafif bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Nano kompozit filmlerin gıdalarda arzu edilmeyen üç mikroorganizma tipi olan <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , ve <i>Bacillus subtilis</i> 'e karşı yüksek düzeyde bir antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir.	(Fang vd., 2020)
TiO₂-Ag NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	NP'ler gram pozitif (<i>S. aureus</i>), ve gram negatif (<i>E. coli</i>) bakterilere karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Jelatinin filmlerin elastikiyetini arttırdığı, TiO ₂ -Ag eklemenin, karboksimetil selüloz filmlerin uzama ve genişleme özelliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Kolorometrik sonuçlara göre jelatinin filmlerin şeffaflığını arttırdığı, TiO ₂ -Ag'nin şeffaflığı azalttığı, TiO ₂ -Ag NP'leri arttıkça beyazlığın arttığı belirtilmiştir.	(Pirsa vd., 2020)
Bakır sülfür NP'ler (CuSNP)	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Alginat bazlı filmlere ağırlıkça %0.5 CuSNP ilavesinin, UV bariyerini, hidrofobikliği, mekanik mukavemeti ve su buharı bariyeri özelliklerini iyileştirdiği ancak termal stabiliteyi önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Alginat/CuSNP nanokompozit filmin gram negatif bakteri olan <i>E. coli</i> 'ye karşı antimikrobiyal etki gösterdiği fakat gram pozitif bakteri olan <i>Listeria monocytogenes</i> 'in gelişme hızına etkisinin düşük olduğu belirtilmiştir.	(Roy ve Rhim, 2020)
ZnO ve kaolin nanokil	Solüsyon dökme yöntemi	Mozarella peyniri	İrmik unu filmlerine kıyasla nanokompozit filmlerin; ZnO ve kaolin nanokil oranı arttıkça mekanik dayanımının önemli ölçüde arttığı (%21-65 artış) ve su buharı bariyeri ile O ₂ gaz bariyeri özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin bakterilere (<i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i>), mayalara (<i>Candida albicans</i>) ve küfe (<i>Aspergillus niger</i>) karşı güçlü antimikrobiyal aktivite sergilediği tespit edilmiştir.	(Jafarzaad eh vd., 2019)
Kitosan/TiO₂ NP'ler (CH/TiO₂ - NP)	Kaplama yöntemi	Kavun	Kaplanmamış örneklerle karşılaştırıldığında kitosan/nano TiO ₂ (CH/TiO ₂) ile muamele edilmiş meyvelerde askorbik asit ve meyve suyu sızıntısının önemli ölçüde korunduğu, toplam küf ve maya popülasyonu sayılarının daha düşük olduğu, polifenol oksidaz (PPO) aktivitelerinin de kontrol grubundakilerden çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.	(Qiao vd., 2019)

TiO₂ NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro oçalışma	Filmlerde bulunan TiO ₂ -NP'ler seviyesi artışının, filmlerin nem içeriği, çözünürlük ve nem alımında önemli düşüşlere yol açtığı; nişasta-pektin filmlerine düşük konsantrasyonda TiO ₂ -NP' lerin eklenmesinin, mekanik ve nem bariyer özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.	(Dash vd., 2019)
ZnO-kitosan NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro oçalışma	NP miktarı %3 ve altında olan filmlerde NP miktarı arttıkça su buharı geçirgenliğinin önemli ölçüde azaldığı (%51'den %43'e), gerilme direncinin arttığı (4.11' den 12.79'a) tespit edilmiştir. Nişasta bazlı filmlerin antimikrobiyal aktivitesinin NP'lerin eklenme miktarıyla pozitif ilişkili olduğu ve bu filmlerin gram pozitif bakteri olan <i>S. aureus</i> 'un gelişmesini önlemede gram negatif bakteri olan <i>E. coli</i> 'den daha etkili olduğu tespit edilmiştir.	(Hu vd., 2019)
ZnO NP'ler	Kaplama yöntemi	İn vitro çalışma	ZnO NP'leri ve Melisa esansiyel yağı konsantrasyonunun artırılmasının, gerilme direncini arttırdığı, su çözünürlüğünü ve su buharı geçirgenliğini azalttığı tespit edilmiştir. ZnO konsantrasyonu arttıkça opaklığın arttığı, Melisa esansiyel yağı konsantrasyonu arttıkça film örneklerinin şeffaflığının arttığı belirtilmiştir. ZnO ve Melisa esansiyel yağı konsantrasyonunun artırılmasının kompozit filmlerin antibakteriyel özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir.	(Sani vd., 2019)
ZnO NP'ler	Ekstrüzyon yöntemi	Antep fıstığı	Nano kaplama yapılan antep fıstıklarının hiçbirinde küf (<i>Aspergillus flavus</i> (PTCC 5004), <i>Aspergillus parasiticus</i> (PTCC 5286) ve <i>Aspergillus parasiticus</i> (PTCC5018)) gelişimi gözlenmezken, tüm kontrol örneklerinde küf gelişimi gözlemlenmiştir. NM'lerin yüzdesi önemli ölçüde artırıldığında, ZnO NP'lerin inhibe edici etkisinin olduğunu belirtilmiştir. %5 NP içeren polilaktik asit yenilebilir filmlerinin antioksidan ajanı olarak uygun kaplamalar olduğu tespit edilmiştir.	(Nasab vd., 2019)
ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Siyah Üzüm	Nanokompozit filmlerin ısıl kararlılığı ve bariyer özellikleri, filmlerin içeriğindeki NP'lerin miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Nanokompozit filmlerin biyolojik olarak parçalanabilirliği 28 günde %30 ile %50 arasında değişmiştir. %5 (w/w) ZnO NP içeren filmlerin, siyah üzümün raf ömrünü9 güne kadar uzattığı tespit edilmiştir.	(Indumat hi vd., 2019)
AgNP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	AgNP'lerin kompozitlerin gerilme direncini 33.64 MPa'dan 16.12 MPa'a azalttığı, su buharı geçirgenliğini azalttığı, filmlerin rengini görünür bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin, temas yüzeyi bölgesinde test edilen patojen bakterilere karşı güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.	(Bahrami vd., 2019)
Nano SiO₂	Solüsyon dökme yöntemi	Kültür mantarı	NM ilavesinin filmlerin özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği, su buharı geçirgenliği, suda çözünürlük, nem emilimi ve ışık geçirgenliği özelliklerinin NM miktarıyla doğru orantılı olarak geliştiği, %0.3 oranında NM ilavesinin film için yeterli olduğu tespit edilmiştir.	(Zhang vd., 2019)

ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Kıyılmış balık ezmesi ve in vitro çalışmalar	Kompozit filmlerin şeffaflıkta düşük miktarda bir azalma ile yüksek UV ışık bariyeri özelliği gösterdiği; ZnO NP'lerinin eklenmesiyle filmlerin kalınlık, su buharı geçirgenliği, gerilme direnci özelliklerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Kompozit filmlerin, gıda kaynaklı patojen bakteriler olan <i>E. coli</i> ve <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı güçlü antibakteriyel aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Geliştirilen filmler kıyılmış balık ezmesine uygulandığında güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.	(Shankar vd., 2018)
Nanokil	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	%2 nanokil ilavesinin kompozit filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği, su buharı geçirgenliğini düşürdüğü, kopma ve çekme direncinde en yüksek uzamayı sağladığı belirtilmiştir. <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> bakterilerinin, bu antimikrobiyal filmlerle önemli ölçüde inhibe edildiği tespit edilmiştir.	(Shekara bi ve Davachi, 2018)
MgO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Dut	Kitosan (ağırlıkça %1), sitrik asit (ağırlıkça %1), gliserol (hacimce %75), MgO (ağırlıkça %10) kompozisyonlu kitosan nanokompozit filmin diğer filmlere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Gama radyasyon ışınlama dozunun 10 kGy'ye kadar artırılmasıyla filmin gerilme gücünün arttığı belirtilmiştir. 2.5 kGy dozunda ışınlanmış, ortalama parçacık boyutu 54.3 nm olan MgO içeren filmin, dut meyvesinin depolama kalitesini ve raf ömrünü iyileştirmek için yeni paketleme materyali olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.	(Abdel Ghaffar vd., 2018)
ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Çiğ et	Kompozit filmlerin antimikrobiyal etkisinin ZnO NP'lerin miktarıyla doğrusal olarak ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan C-2 keselerin, 4°C' de depolamanın altıncı gününde mikrobiyal gelişmeyi tamamen inhibe etmesi sayesinde çiğ etteki mikroorganizmalara karşı yüksek etki gösterdiği tespit edilmiştir.	(Rahman vd., 2017)
Kristalin nanoselüloz (CNC)	Döküm ve buharlaştırma yöntemi	İn vitro çalışma	%5 CNC ile nanokompozit filmde; gerilme mukavemetinin %84'e kadar arttığı, su buharı geçirgenliğinin %40 azaldığı, mekanik özellikler ve su buharı geçirgenliği özellikleri açısından optimum sonuç sağlandığı belirtilmiştir. X-ray kırınımı çalışmaları sonucunda kristallik derecesi ile CNC seviyesi arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. %5 CNC ile pektin film takviyesinin, diğer hazırlanan biyofilmlere kıyasla daha yüksek etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.	(Chaichi vd., 2017)
Kitin nanowhiskerslar (CNW)	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	%1'e kadar CNW ile güçlendirilmiş mısır nişastası filmlerinin gerilme direncinin 1.64 MPa'dan 3.69 MPa'ya yükseldiği; CNW içeriği %2'ye çıkarıldığında 2.22×10^{-12} g/m ² ×Pa'a düştüğü tespit edilmiştir. Üretilen filmlerin gram pozitif bakteri olan <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği ancak gram negatif bakteri olan <i>Escherichia coli</i> 'ye karşı antimikrobiyal etkisinin olmadığı belirtilmiştir.	(Qin vd., 2016)
Nanokapsül süspansiyon	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Nanokapsül süspansiyonunun filme eklenmesinin kalınlığı azalttığı, gerilme mukavemetini düşürdüğü ancak kopmada uzama yüzdesini ve hafifliği artırdığı tespit edilmiştir. Yüksek antioksidan aktivite ve <i>Ferulago angulata</i> uçucu yağının uzun süreli salınımı rapor edilmiştir.	(Esmaeili vd., 2016)

4. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamalarının dezavantajları (Disadvantages of nanotechnology applications in edible films)

Yenilebilir filmlerde NP'leri kullanmanın ana kriterlerinden biri bunların toksik olmamasıdır (Weiss vd., 2006). Konu ile ilgili bilimsel bulguların yetersizliği, bunların kullanımının doğuracağı sakıncalar ile ilgili herhangi bir sonuca varmada zorluklar yaratmaktadır (Mao vd., 2016; Nile vd., 2020). NP'ler, geniş yüzey alanına ve 1 ile 100 nm arasında değişen çok küçük boyutlara sahiptirler. NP'lerin bu özellikleri; toksik kimyasal kirleticileri bağlayabilen ve taşıyabilen, ayrıca kendi başlarına reaktif radikaller üreterek toksik olabilen yüzeylerin meydana gelmesine neden olabilir (Moore, 2006). 70 nm'den küçük NP'ler, hücre çekirdeğine girerek DNA replikasyonu ve transkripsiyonunun bozulmasına neden olabilirler (Chaudhry vd., 2008; Momin vd., 2013). NP'ler, kimyasal olarak büyük boyutlardaki parçacıklardan daha reaktiftirler ve insan vücudunda daha fazla biyoyararlanım sağlarlar. Bu durum; toksisiteye neden olabilir, bağışıklık sistemini tehlikeye atabilir ve daha uzun süreli patolojik etkilere neden olabilir (Momin vd., 2013). Bu gibi nedenlerle, gıda bilimi ve ilgili endüstrilerde kullanılacak NM'lerin veya nanoyapıların potansiyel toksisitesini değerlendirmek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Pathakoti vd., 2017).

NT'nin gıda endüstrisine sağladığı birçok avantajın yanı sıra, NM'ler ile ilgili güvenlik sorunları da ihmal edilemez (Singh vd., 2017). Ambalaj malzemesinin yüzeyindeki NP'lerin insan sağlığı için zararlı olmadığı bilinse de, yer değiştirmeleri ve gıdaya entegrasyonu insan sağlığını etkileyebilir (Nile vd., 2020). Nano boyutlu metal parçacıklar içeren yenilebilir film kaplamaların toksisitesi; özellikle metal iyonlarının salınımı ve migrasyonu nedeniyle, taze kesilmiş ürünlerde alerjik reaksiyonları tetikleme potansiyeline sahip olduğundan, kapsamlı bir şekilde incelenmelidir (Xing vd., 2019).

NP'lerin antimikrobiyal etkilerinin altında yatan mekanizmalar oksidatif ve/veya serbest radikal oluşumundan sorumlu stres kaynaklarının üretimlerinden DNA hasarına kadar çeşitlilik göstermekle birlikte tam olarak anlaşılammıştır. Örneğin; CuO NP'leri çeşitli bakterilere karşı etkili antimikrobiyal aktivite sergilerler, ancak Ag veya Zn NP'lerinden daha az antibakteriyel aktiviteye sahiptirler. Bu nedenle istenen antimikrobiyal etkileri elde etmek için daha yüksek konsantrasyonlar gerekir ve bu konsantrasyonlarda CuO NP'leri memeli hücreleri için toksik olabilir (Ren vd., 2009; Esteban-Tejeda vd., 2009; Ruparelia vd., 2008; Ramasamy ve Lee, 2016).

Yenilebilir nanofilmlerin ticarileştirilmesinde de dikkate alınması gereken bazı konular bulunmaktadır. Birincisi, nano yenilebilir filmler, sentetik plastiklere kıyasla daha zayıf bariyer ve mekanik özellikler göstermektedir. İkincisi, yenilebilir film ve kaplamaların üretimi halen laboratuvar düzeyindedir ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle henüz endüstriyel düzeyde yaygınlaşmamıştır. Büyük ölçekli üretim yöntemleri araştırılmalı, yeni ve daha iyi üretim yöntemleri bulmak için çalışmalar gerçekleştirmek gerekmektedir (Jeevahan ve Chandrasekaran, 2019).

5.Sonuç (Conclusion)

Son yıllarda yenilebilir filmlerin; antimikrobiyal, termal, mekanik ve gaz bariyer özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan NP'ler, birçok çalışmanın konusu olmuştur. NT kullanılarak hazırlanan yenilebilir filmlerin, gıda ambalajı olarak kullanım açısından; iyi birer antibakteriyel, antioksidan, UV-ışık bariyer filmi, uygun nem ve gaz bariyeri, aroma maddelerini ve lezzet bileşenlerini taşıyıcı özelliklere sahip filmler oldukları, çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir.

NM'lerin gelişmiş yapısı ve gıda endüstrisindeki potansiyel faydaları sebebiyle, NT kullanılarak üretilen gıdaların gıda sanayine girişi, gıda sanayinde süregelen çeşitli sorunlara çözümler sağlayacak ve uzun vadeli ekonomik faydalar sunacaktır. Küresel olarak ülkeler, uygun maliyetli geri kazanımlarla verimliliği artırılmış, daha akıllı ve sağlıklı gıdalar üretebilmek için ayarlanabilir özelliklere sahip yenilikçi çözümlere ve bu gıdaların daha iyi korunması için geliştirilmiş depolama özellikleri sunan akıllı paketleme sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

NM'lerin gıdalarda kullanımı, sürdürülebilirlik üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacak ve gerekli yasal düzenlemeler doğru şekilde oluşturulursa hem sağlık hem de çevresel açıdan faydalar sağlayacaktır. Bununla birlikte, NT'nin gıda endüstrisinde kullanım için sürekli yeni NM'lerin bulunması nanogıdaların ve nanopaketlemenin güvenliğini değerlendirmeyi daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, nanoteknolojik yöntemlerin yeni ürünler üretmek için yaygın şekilde kullanılmaya başlaması ile birlikte sosyal ve çevresel çıkarların zarar görmemesini sağlamak adına daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır. Örneğin, yeni tespit yöntemlerinin geliştirilmesi, insanların gıda endüstrisindeki bu yüksek teknoloji ürünlerden güvenle yararlanabilmeleri için daha doğru bir değerlendirme yapabilme imkanı sunacaktır. İlaveten, yenilebilir nanofilmlerin doğa dostu filmler olması, çevre kirliliğinin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu alanda yapılacak çalışmalarla, gıda işleme ve ürün kalitesi iyileştirilerek, insan sağlığı ve refahı açısından arzu edilen

niteliklerde, daha uzun raf ömrüne sahip gıdaların üretilmesi mümkün olacaktır.

Ancak; yenilebilir filmlere NP'lerin eklenmesiyle, gıdaların temel kalite faktörlerinin ne şekilde etkileneceği üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. NP'lerin gıdaya migrasyonu ve buna bağlı olarak ortaya çıkma potansiyeli olan toksisite riskine yönelik araştırmalar artırılmalıdır. Ayrıca yenilebilir nanofilmlerin üretiminin laboratuvar çalışmalarıyla sınırlı kaldığı görülmektedir. Gıda güvenliği, insan ve çevre sağlığı açısından yapılması gereken düzenlemelerin yanında; bu filmlerin endüstriyel boyutta üretilmesi ve gıda sanayiinin kullanımına kazandırılması konusunda da çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, yenilebilir filmlerin etkinliğini artırma adına umut verici katkılarının pek çok araştırma ile ortaya koyulduğu bu yeni teknolojinin beraberinde getirmesi muhtemel risklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaların derinleştirilmesi bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, yenilebilir film alanındaki nanoteknolojik uygulamaların endüstriyel gıda üretim sistemlerine adaptasyonu, bu yöndeki inovasyonların gelecekteki odak noktasını oluşturma potansiyeline sahiptir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdel Ghaffar, A. M., Ali, H. E., Nasef, S. M., El-Bialy, H. A., 2018. Effect of gamma radiation on the properties of crosslinked chitosan nano-composite film. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3226-3236.
- Ananda, A. P., Manukumar, H. M., Umesh, S., Soumya, G., Priyanka, D., Mohan Kumar, A. S., Savitha, K. R., Krishnamurthy, N. B., 2017. A relook at food packaging for cost effective by incorporation of novel technologies. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1(2), 67-85.
- Anitha, A., Rani, V. V. D., Krishna, R., Sreeja, V., Selvamurugan, N., Nair, S. V., Tamura, H., Jayakumar, R., 2009. Synthesis, characterization, cytotoxicity and antibacterial studies of chitosan, O-carboxymethyl and N, O-carboxymethyl chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 78(4), 672-677.
- Azam, A., Ahmed, A., S., Oves, M., Khan, M., S., Habib, S., S., Memic, A., 2012. Antimicrobial activity of metal oxide NPs against Gram positive and Gram negative bacteria: a comparative study. *Int J. Nanomed.* 7, 6003-6009.
- Bahrami, A., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Ghanbarzadeh, B., Salehi, R., 2019. Physico-mechanical and antimicrobial properties of tragacanth/hydroxypropyl methylcellulose/beeswax edible films reinforced with silver nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 1103-1112.
- 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 Analysis*, 26, 1201-1214.
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., Sablani, S., S., 2011. Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging: a review. *Food Eng Rev*, 3:79e93.
- Baysal, G., Doğan, F., 2020. Investigation and preparation of biodegradable starch-based nanofilms for potential use of curcumin and garlic in food packaging applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 31(9), 1127-1143.
- Becerril, R., Nerín, C., Silva, F., 2020. Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: an update. *Molecules*, 25(5), 1134.
- Ben-Shalom, N., Ardi, R., Pinto, R., Aki, C., Fallik, E., 2003. Controlling gray mould caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. *Crop Protection*, 22, 285-290.
- Bhuyan, S., Sundararajan, S., Lu, Y., Larock, R., C., 2010. A study of the physical and terminological properties of bio based polymer/clay nanocomposites at different clay concentrations. *Wear*, 268, 797-802.
- Bohlooli, S., Eskandari, S., 2021. An overview on the applications of nanotechnology for improving the safety of food products. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 4(1), 90-93.
- Cano, L., Pollet, E., Avérous, L., Tercjak, A., 2017. Effect of TiO₂ nanoparticles on the properties of thermoplastic chitosan-based nano-biocomposites obtained by mechanical kneading. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 93, 33-40.
- Cavaliere, E., De Cesari, S., Landini, G., Riccobono, E., Pallecchi, L., Rossolini, G., M., Gavioli, L., 2015. Highly bactericidal Ag nanoparticle films obtained by cluster beam deposition. *Nanomedicine*, 11(6), 1417-1423.
- Chaichi, M., Hashemi, M., Badii, F., Mohammadi, A., 2017. Preparation and characterization of a novel bionanocomposite edible film based on pectin and crystalline nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 167-175.
- Chaudhary, P., Fatima, F., Kumar, A., 2020. Relevance of nanomaterials in food packaging and its advanced future prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30:5180-5192.
- 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.
- Chawla, R., Sivakumar, S., Kaur, H., 2021. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2 (December 2020), 100024.
- Colon, G., Ward, B., C., Webster, T., J., 2006. Increased osteoblast and decreased *Staphylococcus epidermidis* functions on nanophase ZnO and TiO₂. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 78(3), 595-604.
- Condés, M. C., Echeverría, I., Añón, M. C., Mauri, A. N., 2016. Nanocompounds as formulating aids. *Barbosa-Cánovas G. V., López-*

- Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Montero Garcia M. P. (chief ed.), Edible Films and Coatings Fundamentals and Applications, içinde (pp. 616). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.
- Çelebi Sezer, Y., Bozkurt, H., 2021. Et ve et ürünlerinin üretimi ve saklanması antimikrobiyal ambalajlama sistemlerinin kullanımı. *Food and Health*, 7(2), 150-163.
- Das, S., K., Das, A., R., Guha, A., K., 2009. Gold nanoparticles: Microbial synthesis and application in water hygiene management. *Langmuir*, 25: 8192-8199.
- Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., Mohanta, D., 2019. Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449-458.
- Davoodbasha, M., Kim, S., C., Lee, S., Y., Kim, J., W., 2016. The facile synthesis of chitosan-based silver nano-biocomposites via a solution plasma process and their potential antimicrobial efficacy. *Arch. Biochem. Biophys*, 605, 49-58.
- Dholariya, P., K., Borkar, S., Borah, A., 2021. Prospect of nanotechnology in food and edible packaging: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(5): 197-203.
- Divya, K., Smitha, V., Jisha, M. S., 2018. Antifungal, antioxidant and cytotoxic activities of chitosan nanoparticles and its use as an edible coating on vegetables. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 572-577.
- Durán, N. and Marcató, P.D., 2013. Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 48: 1127-1134.
- Esmaili, A., Ebrahimzadeh Fazel, M., 2016. Optimization and preparation of Methylcellulose edible film combined with of *Ferulago angulata* essential oil (FEO) nanocapsules for food packaging applications. *Flavour and Fragrance Journal*, 31(5), 341-349.
- Esteban-Tejeda, L., Malpartida, F., Esteban-Cubillo, A., Pecharromn, C., Moya, J., S., 2009. Antibacterial and antifungal activity of a soda-lime glass containing copper nanoparticles. *Nanotechnology*, 20(50):505701.
- Fang, Y., Fu, J., Tao, C., Liu, P., Cui, B., 2020. Mechanical properties and antibacterial activities of novel starch-based composite films incorporated with salicylic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1350-1358.
- Farhoodi, M., 2016. Nanocomposite materials for food packaging applications: characterization and safety evaluation. *Food Eng. Rev.*, 8 (1), 35-51.
- Fuente-Salcido, N. M., Alejo-Andrade, A. M., Favela-González, K. M., Marszalek, J. E., 2018. Polymers and nanotechnology, the new face of bioactive edible coatings. *Polymer Research: Communicating Current Advances, Contributions, Applications and Educational Aspects*, November 2018.
- Fulaz, S., Vitale, S., Quinn, L., Casey, E., 2019. Nanoparticle-biofilm interactions: The role of the EPS matrix. *Trends in Microbiology*, Nov;27(11):915-926. DOI: 10.1016/j.tim.2019.07.004
- Galus, S., Arik Kibar, A. E., Gniewosz, M., Krasniewska, K., 2020. Novel materials in the preparation of edible films and coatings-a review. *Coatings*, 10(7), 1-14.
- Han, W., Yu, Y., Li, N., Wang, L., 2011. Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. *Chinese Science Bulletin*, 56(12), 1216-1225.
- He, X., Deng, H., Hwang, H., 2019. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(1), 1-21.
- Hetrick, E., M., Shin, J., H., Paul, H., S., Schoenfish, M., H., 2009. Anti-biofilm efficacy of nitric oxide-releasing silica nanoparticles. *Biomaterials*, 30, 2782-2789.
- 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(January).
- Hu, X., Jia, X., Zhi, C., Jin, Z., Miao, M., 2019. Improving the properties of starch-based antimicrobial composite films using ZnO-chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 210, 204-209.
- Huang, Y., Gu, C., He, S., Zhu, D., Xiuchun, L., Chen, Z., 2020. Development and characterization of an edible chitosan-whey protein nano composite film for chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) preservation. *Food Science*, 85(7), 2114-2123.
- Iijima, S., 1991. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56-58.
- Indumathi, M. P., Saral Sarojini, K., Rajarajeswari, G. R., 2019. Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grape fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1112-1120.
- İşleyici, Ö., Çakmak, T., Sancak, Y., C., Elçek, R., Tuncay, R., M., 2019. Gıda ambalajlarında nanoteknoloji uygulamaları. Ereğli Uluslararası Bilim ve Akademi Kongresi Bildiriler Kitabı, (1), 171-192.
- Jafarzadeh, S., Rhim, J., Alias, A. K., Ariffin, F., Mahmud, S., 2019. Application of antimicrobial active packaging film made of semolina flour, nano zinc oxide and nano-kaolin to maintain the quality of low-moisture mozzarella cheese during low-temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 2716-2725.
- Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., 2019. Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54(19), 12290-12318.
- Jones, N., Ray, B., Ranjit, K., T., Manna, A., C., 2008. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 279(1), 71-76.
- Joye, I. J., Davidov-Pardo, G., McClements, D. J., 2016. Nanotechnology in food processing. Caballero B., Finglas P. M., Fidel T. (chief ed.) *Encyclopedia of Food and Health* içinde (pp. 49-55). UK: Academic Press.
- Kumar, R., Munstedt, H., 2005. Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. *Biomaterials*, 26 (14), 2081-2088.
- Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J., 2020. Chitosan based nanocomposite films and coatings: emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science and Technology*, 97(August 2019), 196-209.
- Lamabam, S. D., Thangjam, R., 2018. Chapter 4-progress and challenges of nanotechnology in food engineering. Grumezescu, A. M., Holban A. M. (chief ed.), *Impact of Nanoscience in the Food Industry Handbook of Food Bioengineering* içinde (pp. 87-112). UK: Academic Press.

- Lee, K., T., 2010. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. *Meat Sci.*, 86(1), 138-50.
- Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y., Hu, Q., 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba Mill. var. inermis (Bunge) Rehd.*). *Food Chem.*, 114, 547-552.
- Li, H., Wang, J., Liu, H., Zhang, H., Li, X., 2005. Zinc oxide films prepared by sol-gel method. *Journal of Crystal Growth*, 275(1- 2), e943-e946.
- Li, J., H., Hong, R., Y., Li, M., Y., Li, H., Z., Zheng, Y., Ding, J., 2009. Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. *Prog. Org. Coat.*, 64, 504-509.
- Li, Y., Rokayya, S., Jia, F., Nie, X., Xu, J., Elhakem, A., Almatrafi, M., Benajiba, N., Helal, M., 2021. Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
- Li, Y., Tseng, Y., D., Kwon, S., Y., d'Espaux, L., Bunch, J., S., McEuen, P., L., Luo, D., 2004. Controlled assembly of dendrimer-like DNA. *Nature Mater* 3, 38-42.
- Lindström, T., Österberg, F., 2020. Evolution of biobased and nanotechnology packaging-a review. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 35(4), 491-515.
- Malhotra, B. D., & Ali, M. A., 2018. Nanomaterials in biosensors: Fundamentals and applications. *Nanomaterials for Biosensors*, 1-74. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44923-6.00001-7>.
- Mallakpour, S., Dinari, S., 2012. Treated montmorillonite: structural and thermal properties of chiral poly(amide-imide)/organoclay bionanocomposites containing natural amino acids. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 22, 929-937.
- Maneerat, C., Hayata, Y., 2006. Antifungal activity of TiO₂ photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. *International Journal of Food Microbiology*, 107(2), 99-103.
- Mao, B. H., Tsai, J. C., Chen, C. W., Yan, S. J., Wang, Y. J., 2016. Mechanisms of silver nanoparticle-induced toxicity and important role of autophagy. *Nanotoxicology*, 10(8), 1021-1040.
- Mihindukulasuriya, S. D. F., Lim, L. T., 2014. Nanotechnology development in food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149-167.
- Mkandawire, M., Aryee, A. N., 2018. Resurfacing and modernization of edible packaging material technology. *Current Opinion in Food Science*, 19, 104-112.
- Momin, J. K., Jayakumar, C., Prajapati, J. B., 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*, 32, (8): 967-976.
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., Yacaman, M. J., 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(10), 2346.
- Nasab, M. S., Tabari, M., Bidarigh, S., 2019. Antifungal activity of nano-composite films-based poly lactic acid. *Nanomedicine Research Journal*, 4(3), 186-192.
- Nile, S. H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., Kai, G., 2020. Nanotechnologies in food science: applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-Micro Letters*, 12(1), 1-34.
- Pathakoti, K., Manubolu, M., Hwang, H. M., 2017. Nanostructures: current uses and future applications in food science. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2), 245-253.
- Pirsa, S., Farshchi, E., Roufegarinejad, L., 2020. Antioxidant/antimicrobial film based on carboxymethyl cellulose/gelatin/TiO₂-Ag nano-composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(12), 3154-3163.
- Primožič, M., Knez, Ž., Leitgeb, M., 2021. (Bio)nanotechnology in food science-food packaging. *Nanomaterials*, 11(2), 1-31.
- Qiao, G., Xiao, Z., Ding, W., Rok, A., 2019. Effect of chitosan/nano-titanium dioxide/thymol and tween films on ready-to-eat cantaloupe fruit quality. *Coatings*, 9(12), 828.
- Qin, Y., Zhang, S., Yu, J., Yang, J., Xiong, L., Sun, Q., 2016. Effects of chitin nano-whiskers on the antibacterial and physicochemical properties of maize starch films. *Carbohydrate Polymers*, 147, 372-378.
- Radusin, T., Ristic, I., Pilic, B., Novakovic, A., 2016. Antimicrobial nanomaterials for food packaging applications. *Food and Feed Research*, 43(2), 119-126.
- Rahman, P. M., Mujeeb, V. M. A., Muraleedharan, K., 2017. Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 382-391.
- Ramasamy, M., Lee, J., 2016. Recent nanotechnology approaches for prevention and treatment of biofilm-associated infections on medical devices. *BioMed Research International*, 2016, 17.
- Ren, G., Hu, D., Cheng, E., W., C., Vargas-Reus, M., A., Reip, P., Allaker, R., P., 2009. Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 33(6), 587-590.
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., Rocha, F., 2021. Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2), 209-231.
- Roy, S., Rhim, J. W., 2020. Effect of CuS reinforcement on the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of alginate-based composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 37- 44.
- Ruparelia, J., P., Chatterjee, A., K., Duttagupta, S., P., Mukherji, S., 2008. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. *Acta Biomaterialia*, 4(3), 707-716.
- Salami-Kalajahi, M., Haddadi-Asl, V., Roghani-Mamaqani, H., 2012. Study of kinetics and properties of polystyrene/silica nanocomposites prepared via in situ free radical and reversible addition-fragmentation chain transfer polymerizations. *Sci. Iran*. 19(6), 2004-2011.
- Sami, R., Almatrafi, M., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Helal, M., 2021. Effect of nano silicon dioxide coating films on the quality characteristics of fresh-cut cantaloupe. *Membranes*, 11(2), 1-10.
- Sani, I. K., Pirsa, S., Taği, Ş., 2019. Preparation of chitosan/zinc oxide/*Melissa officinalis* essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polymer Testing*, 79, 106004.
- Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M., Yousefi, H., 2015. Preparation of UV-protective kefiran/nano-ZnO nanocomposites: Physical and mechanical properties. *Int. J. Biol. Macromol.*, 72, 41-46.
- Shakeel, A., Annu, S., I., Salprima, Y., S., 2016. Biosynthesis of gold nanoparticles: A green approach. *Journal of Photochemistry*

- Photobiology B, 161: 141-153.
- Shankar, S., Wang, L. F., Rhim, J. W., 2018. Incorporation of zinc oxide nanoparticles improved the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of PLA-based nanocomposite films. *Materials Science and Engineering C*, 93, 289-298.
- Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H., 2017. Nanotechnology: an untapped resource for food packaging. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1735.
- Shekarabi, A. S., Davachi, S. M., 2018. Characterization a novel antimicrobial nano composite edible film based on *Salvia macrosiphon*. *ETP International Journal of Food Engineering*, 4(4), 337-340.
- Shi, L., E., Li, Z., H., Zheng, W., Zhao, Y., F., Jin, Y., F., Tang, Z., X., 2014. Synthesis, antibacterial activity, antibacterial mechanism and food applications of ZnO NPs: a review. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo Risk Assess*, 31(2), 173- 186.
- Singh, R., Smitha, M., S., Singh, S., P., 2014. The role of nanotechnology in combating multi-drug resistant bacteria. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14, 1-12.
- Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K., 2017. Application of nanotechnology in food science: perception and overview. *Frontiers in Microbiology*, 8(August), 1-7.
- Sondi, I., Salopek-Sondi, B., 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram- negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 177-182.
- Şahin, M., 2020. Değerli metal içeren nanoparçacıkların sentezi, karakterizasyonu ve kataliz uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tjong, S. C., 2006. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 53(3-4), 73-197.
- Wahab, A., Rahim, A., A., Hassan, S., Egbuna, C., Manzoor, M., F., Okere, K., Walag, A., M., P., 2021. Chapter 10 - Application of nanotechnology in the packaging of edible materials. Editor(s): Egbuna, C., Mishra, A., P., Goyal, M., R. *Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders içinde* (pp 215-225). Academic Press, ISBN 9780128202845.
- Weiss, J., Takhistov, P., McClements, D. J., 2006. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), 107-116.
- Whitesides, G., 2005. Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. *Small* 1, 172-179.
- Xiao, J., Gu, C., Zhu, D., Huang, Y., Luo, Y., Zhou, Q., 2021. Development and characterization of an edible chitosan/zein-cinnamaldehyde nano-cellulose composite film and its effects on mango quality during storage. *Lwt*, 140, 110809.
- Xing Y, Li W, Wang Q, Li X, Xu Q, Guo X, Bi X, Liu X, Shui Y, Lin H, Yang H., 2019. Antimicrobial nanoparticles incorporated in edible coatings and films for the preservation of fruits and vegetables. *Molecules*, 24(9):1695.
- Yemmireddy, V., K., Hung, Y., C., 2015. Effect of binder on the physical stability and bactericidal property of titaniumdioxide (TiO₂) nanocoatings on food contact surfaces. *Food Control*, 57, 82-88.
- Yin, H., Tsai, W., 2015. *Advances of nanomaterials for food processing*. Cheung, P. C. K., Mehta B. M. (Ed.) *Handbook of Food Chemistry içinde* (pp. 1137-1159). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Yoksan, R., Chirachanchai, S., 2010. Silver nanoparticle-loaded chitosan-starch based films: fabrication and evaluation of tensile, barrier and antimicrobial properties. *Materials Science & Engineering C*, 30(6), 891-897.
- Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., 2018. Bionanocomposites materials for food packaging applications: concepts and future outlook. *Carbohydrate Polymers*, 193(February), 19-27.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T. F., Mendoza-Elvira, S., Quintanar-Guerrero, D., 2018. Nanosystems in edible coatings: a novel strategy for food preservation. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3).
- Zhang, R., Wang, X., Wang, J., Cheng, M., 2019. Synthesis and characterization of Konjac glucomannan/Carrageenan/nano- silica films for the preservation of postharvest white mushrooms. *Polymers*, 11(1), 6.