



GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOSİSTEMLERİN KULLANIMI

Gülay Baysal*

Istanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34295, Türkiye

Geliş / Received: 07.01.2019; Kabul / Accepted: 28.04.2020; Online baskı / Published online: 15.05.2020

Baysal, G. (2020). Gıda endüstrisinde nanosistemlerin kullanımı. *GIDA* (2020) 45(3) 517-529 doi: 10.15237/gida.GD20012

Baysal, G. (2020). The use of nanosystems in the food industry. GIDA (2020) 45(3) 517-529 doi: 10.15237/gida.GD20012

ÖZ

Nanosistemler, sağlık, gıda, enerji, tekstil, otomotiv, iletişim teknolojileri, tarım, silah ve uzay endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmakta ve hayatımıza önemli gelişmeler kazandırmaktadır. Son yıllarda, nanosistemleri kullanarak, gıda ürünlerini atomik ve moleküler seviyelerde kontrol etmenin yollarını araştırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar, yeşil paketleme sistemleri, oxo-biyobozunur paketleme sistemleri, gübre kullanımının sona ermesi, gıda takibi, izleme, marka koruması, biyosensörler, akıllı etiketler, lezzet hataları oluşturma, tat değişimi ve hızlı bakteri tespiti gibi başlıkları içermektedir. Bu çalışmaların yanı sıra, sağlık alanında ilaç sektörü ve hastalıkların teşhis ve tedavisinde, hastanın konforunu önemli ölçüde arttırmakta ve ömrünü uzatmaktadır. Bu derleme çalışması, nanosistemlerin ve nanopartiküllerin kullanım alanlarını, gıda uygulamalarını, nanopartikül bileşenlerini (karbon nanotüpler, manyetik nanopartiküller, altın nanopartiküller, gümüş nanopartiküller ve kuantum noktalar), nanosensörleri, gıda ambalaj sistemlerinde akıllı paketleme metodlarını ve biyosensörleri başlıklarını içermektedir.

Anahtar kelimeler: Nanosistemler, nanosensörler, biyosensörler, akıllı etiketler

THE USE OF NANOSYSTEMS IN THE FOOD INDUSTRY

ABSTRACT

The nanosystems are used in many fields such as health, food, energy, textile, automotive, communication technologies, agriculture, weapons and space industry and bring important improvements to our lives. In recent years, many studies have been carried out to investigate the ways to control the food products at atomic and molecular levels using nanosystems. These studies include topics such as green packaging systems, oxo-biodegradable packaging systems, end of fertilizer use, food tracking, tracking, brand protection, biosensors, smart labels, flavor defects, taste change and rapid bacterial detection. Besides, nanosystems significantly increase the patient's comfort and prolongs life in the diagnosis and treatment of the pharmaceutical industry and diseases in the field of health. This review study covers the usage areas of nanosystems and nanoparticles, food applications, nanoparticle components (carbon nanotubes, magnetic nanoparticles, gold nanoparticles, silver nanoparticles and quantum dots), nanosensors, smart packaging methods and biosensors in the food packaging systems.

Keywords: Nanosystems, nanosensors, biosensors, smart label

*Yazışmalardan sorumlu yazar/ Corresponding author

✉ gulaybaysal@aydin.edu.tr,

☎ (+90) 444 14 28-22409

☎ (+90) 212 425 5759

Gülay Baysal; ORCID no: 0000-0001-7081-1472

GİRİŞ

Nanoteknolojide nanokompozitler önemli bir yere sahiptir. Gıda endüstrisinde ambalajlama teknolojisinde yaygınca gaz ve oksijen bariyeri, ince ambalaj filmleri, elektronik duyuşal paketleme sistemlerinde ve renk taşıyıcı olarak kullanılmalarının yanı sıra damgalama, biyosensör, nanosensörler, akıllı etiketler, hologramlar ve paketleme tasarımlarında da kullanılmaktadır. Nanokompozitlerin sıklıkla tercih edilmelerinin sebepleri ise termal kararlılıkları, mekanik dayanıklılıkları, boyutsal kararlılığı artırması, yüksek alev dirençleri, iyi bir yüzey görünümü, optik özellikleri ve güçlü gaz bariyer özellikleridir. Atom ve moleküllerin dizilimlerinin farklı tasarlanabilme kabiliyetleri beraberinde nanoçağı getirmektedir. 2020 yıllarında günlük yaşamımıza hızlı bir şekilde giriş yapan nanoteknoloji, beraberinde eşsiz ve büyüleyici yenilikleri getirmeye başlamıştır.

Nanoteknoloji, özellikle gıda endüstrisinde, gıdaların tekstür ve aroma gibi istenilen özellikte geliştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Nanoparçacıklar kullanılarak, antimikrobiyal ambalajlar, biyobozunur materyaller, yenilebilir filmler üretilmekte ve raf ömrü güvence ve kontrol altına alınabilmektedir. Akıllı etiketler, biyosensörler ve nanosensörler kullanılarak gıdaların bozulma belirtileri erken tespit edilebilmektedir (Joseph ve Morrison, 2006). Nanoteknolojinin gıda endüstrisinde uygulama alanları olarak, gıdalarda patojenlerin tespiti, gıda güvenliğinin artırılması, antibakteriyel ambalaj sistemlerinin geliştirilmesi, biyoaktif maddelerin taşınması ile kontrollü salınım ve fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesi başlıklarını sıralamak mümkündür (Robinson ve Morrison, 2009).

Gıdaların işlenmesi ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesinde yaygınca nanoemülsiyonlar kullanılmaktadır. Nanoemülsiyonlar, nanodamlacıkları kullanarak, kremleşme ve sedimentasyonu önlemekte ve biyoaktif ürünlerin taşınmasını sağlamaktadır. Nanoemülsiyonlar hem gıdaların fiziksel görüntülerini iyileştirme, hem de nanokapsülleme yöntemiyle yağda çözünen besinlerin sindirimini kolaylaştırmaktadır (McClement, 2011). Buna ilaveten, biyoyararlılığı

da büyük ölçüde artırmaktadır (Zulli vd., 2006). Patojenlerin tespitinde ise, özellikle nanosensörler ve biyosensörler aktif olarak kullanılmaktadır (Cui vd., 2001). Patojenlerin gelişmesi ve çoğalmasında, zaman faktörü çok önemli bir parametre olduğu için saatler hatta dakikalar içinde patojenleri tespit edebilen nanosensörlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Bouwmeester vd., 2009; Garcia vd., 2006). Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınım sistemlerinin geliştirilmesinde ise kullanılan yaygınca nanosistemler, nanokapsüllerdir. Nanokapsüller, mineral, protein, antioksidanlar ve vitaminler gibi gıda bileşenlerinin biyoyararlılığını artırmakta ve hedeflenen dokulara iletimini sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Başlıca, gıdalarda uygulanan enkapsülasyon yöntemleri, hoş olmayan tat ve kokuları maskeleyerek, biyoyararlılığı artırmak ve kontrollü salınımı gerçekleştirmek için uygulanmaktadır (Dion vd., 2008; Chaudhry vd., 2008; Serferty vd., 2010; Torres-Giner vd., 2007). Gıda ambalajlarında ise, kullanılan ambalaj malzemelerinin gözenek sayısı, nem ve gaz geçirgenliği, gıdaların korunması ve raf ömrünün uzaması üzerinde nanoteknolojinin etkileri büyük önem taşımaktadır. Özellikle, gıda ambalajlarında kullanımı, enerji sarfiyatlarını azaltmakta, gaz bariyer özelliklerini iyileştirmekte, CO₂ emisyonunu düşürerek insan ve çevre sağlığını tehdit eden unsurları minimize etmektedir (Bente vd., 2000; Buzby 2010; Chau vd., 2007; Kirwan ve Strawbridge 2003). Yapılan araştırmalara göre, biyobozunur nanokompozit malzemelerin ambalaj tekniklerinde uygulanması, çevre dostu biyolojik ürünlerin geliştirilmesi anlamında büyük kazanım sağlamıştır (Cha ve Chinnan 2004; Dawson vd., 2002; Rhim vd., 2006).

Nanopartiküller

Karbon Nanotüpler

1991 yılında, karbon nanotüplerin sentezlenmesi, nanoteknoloji biliminin başlamasına ve bu alanda ki deneylerin hız kazanmasına neden olmuştur. Bilindiği gibi, karbon atomu 6 elektrona sahiptir, ancak ilk iki elektronun bağ oluşumuna katılmaması ve bağ yapımına katılan diğer 4 elektron ile aralarındaki enerji farkının oldukça

büyük olması karbonun farklı yapılar oluşturabilmesine neden olmaktadır. Doğada bu özelliği taşıyan tek element karbon elementidir ve bu da onu eşsiz kılmaktadır. Karbon atomları kendi aralarında sp , sp^2 ve sp^3 olmak üzere üç farklı bağlanma özelliği taşımaktadır. Karbon esaslı malzemeler, elmas, grafit, karbon şiberler, camsi karbon, siyah karbon, amorf karbon, sıvı karbon, karbon ve karbolitlerden oluşmaktadır. Karbon nano yapılar ise karbon nanotoplar, tek duvarlı karbon nanotüpler ve çok duvarlı (nanoçubuklar) karbon nanotüpler ve karbon nanohalkalardan meydana gelmektedir (Pandey vd., 2016). Karbon nanotüplerde katman sayısı ve katlanma şekline göre sınıflandırma yapılmaktadır. Elektriksel iletim özellikleri, en dış katmanın iletkenliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, yüzey fonksiyonlaştırma işleminin, elektronik özellikleri büyük ölçüde değiştirme nedenini, açıklayıcı niteliktedir.

Karbon nano yapılar, metallerin espotansiyel yüzeyleri oluşturmasında etkili olduğu bilinmekle beraber optik sınırlayıcı, fotoyansıtıcı polimer, fotoiletken, fotodiyot, transistör, katalizör, süper iletken özellikleri ve güneş pillerinde yaygınca kullanılan materyallerdir (Küçük yıldırım vd., 2012; Cumbul vd., 2014; Flahaut vd., 2012). Karbon nanotüplerin üretimi için ark deşarj, lazer kazıma ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Manyetik Nanopartiküller

Nanopartiküller, bloklama (T_c) sıcaklığının üzerindeki sıcaklık değerlerinde süperparamagnetik özellik gösterirler. Demir (Fe), kobalt (Co), magnetit ve maghemit gibi demir oksitler, ferrimagnetler, $CoPt_3$ ve $FePt$ gibi bazı alaşımlar manyetik nanopartiküllerin bileşenlerini oluşturmaktadır (Erdoğan, 2018; Gubin vd., 2005). Manyetik nanopartiküller, termal parçalanma, hidrotermal sentez, ortak çöktürme ve mikroemülsiyon gibi metotlar ile sentezlenebilmektedir. Parçacık boyutu azaldıkça, spinler termal dalgalanmalardan etkilenir ve parçacıklar süperparamanyetik hale gelir (Vatta vd., 2006). Yaygın olarak, ilaç sektöründe ilaç taşıyıcı olarak, manyetik cihaz tasarımlarında ve biyoteknolojide hücre, protein, nükleik asitler,

enzim, bakteriler, virüsler gibi biyomolekülleri ayırmak ve klinik tanı ve tedaviler için kullanılmaktadırlar. Bunun yanı sıra, özellikle kemoterapi ve radyoterapi gibi tedavi yöntemlerinde hyperthermia adlı destek tedavi yöntemi olarak kullanılabilmektedirler (Erdoğan, 2018; Abu-Dief vd., 2018). Manyetik nanoparçacıklar, değişen manyetik alana maruz bırakıldıklarında manyetik histerisis kayıplarıyla ısınır. Tümör hücreleri ısıya karşı oldukça duyarlıdır ve $41\text{ }^\circ\text{C}$ 'de bozulmaya uğrarlar. Şekil 1'de manyetik nanopartiküllerin çalışma mekanizmaları şematize edilmiştir.



Şekil 1. Manyetik nanopartiküllerin çalışma mekanizmaları

Figure 1. The working principles of magnetic nanoparticles

Altın Nanopartiküller

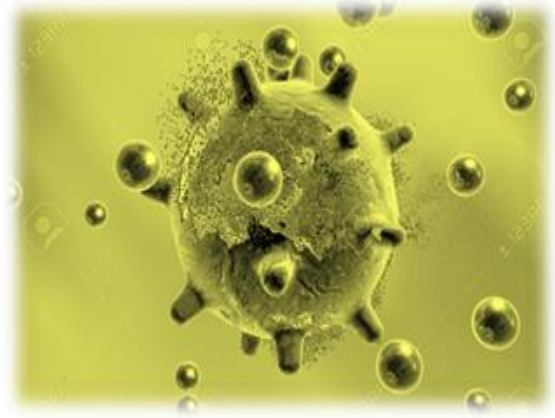
Altın, makroskobik olarak kararlı, yüksek redoks potansiyeline sahip, korozyona karşı dirençli, yüksek yoğunluklu bir elementtir. Altın nanopartiküller, optik dalgalar ile etkileşerek spesifik renklerini ve yarı iletkenlik özelliklerini oluştururlar. Altın nanopartiküllerin boyut, şekil, erime hızı, yükü ve büyük yüzey alanı gibi özellikleri biyolojik etkileşimlerde ki aktivitelerini önemli ölçüde geliştirmektedir. Altın nanopartiküller, elektromanyetik spektrumunda geniş bir emilim bandına sahiptir. Işık adsorplama kapasiteleri, organik boyalardan bir milyon kat daha fazladır. Radyoaktif özellik göstermedikleri için ısı açığa çıkarabilmektedirler, bu nedenle kanser tedavilerinde sıkça tercih edilmektedirler.

Bununla birlikte biyoyumlu olma özellikleri kullanım yelpazelerinin genişlemesine neden olmuştur (Shah vd., 2014; Slepcke vd., 2020).

Altın nanopartiküllerin (AuNP) kendilerine özgü fiziksel, kimyasal, elektronik ve optik özellikleri, nanoteknolojide aranan nanopartiküller olmalarını sağlamıştır. Bir soy metal olan altın toksik özelliğe sahip olmadığı için kanser tedavilerinde yaygınca tercih edilmektedir. Pankreas ve akciğer kanserinde, ilaç salınım sistemlerinde, sitotoksikolojik çalışmalarda altın nanopartiküllerin aktif rol oynadıkları bilinmektedir (Das vd., 2011; Yadav, 2018). Son zamanlarda, tümör antimikrobiyal, antimalaryal ve anti-HIV aktivitelere sahip çeşitli “organoaltın” kompleksleri ortaya çıkmıştır.

Gümüş Nanopartiküller

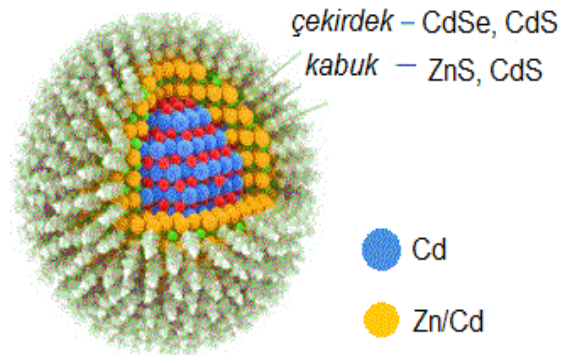
Gümüş, bakteri direncini neredeyse yok eden, geniş spektrumlu, antimikrobiyal, antifungal ve antiviral bir elementtir. Bakır, titanyum ve altın gibi elementler ile kıyaslandığında, en çok antimikrobiyal etkiyi gümüş elementi göstermektedir. Bakterinin hücre duvarına bağlanarak, proteinlerle etkileşmesi sonucu bakterinin hücre zar geçirgenliğini azaltır. Bakteri hücresinin yapısında ki tiol, karboksil, amin, fosfat, indol, imidazol ve hidroksil grupları ile etkileşime girerek hidrojen katyonu ile yer değiştirir ve DNA molekülünün zarar görmesini sağlar. Mikroorganizmada solunum zincirlerindeki enzimleri etkisiz hale getirerek oksidatif fosforilasyonundaki elektron taşıma sistemini çökertir. Bu etki, özellikle serbest radikallerde meydana gelir. Yapılan araştırmalara göre gümüş iyonları, gümüş nanopartiküllere göre daha toksiktir. Gümüş nanopartiküller, biyosensör uygulamalarında yaygınca kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise, yüksek iletkenlikleri sayesinde biyosensörlerin içindeki elektron iletimini kolaylaştırması ve ölçümlerin hassasiyetini artırmasıdır (El-Nour vd., 2010; Rauwel vd., 2015; Jafari vd., 2015). Şekil 2’de gümüş nanopartiküllerin virüslerin DNA dizilimlerinde oluşturduğu bozulma etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Gümüş nanopartiküllerin, virüslerin DNA dizilimlerinde oluşturduğu bozulma etkisi
Figure 2. The destruction effect of silver nanoparticles on DNA sequences of viruses

Kuantum Noktalar

Kuantum noktaları yarı iletken ve atomik düzeyde (2-10 nm) tanecik boyutuna sahip nanokristallerden oluşmaktadır. Tanecik boyutlarının kontrol edilebilir olması, kuantum noktalarına çok geniş kullanım alanları sağlamaktadır. Bu yarı iletken nanotanecekler farklı enerji seviyeleri ve optik özelliklerinden dolayı lazer sistemleri, biyoteknoloji, elektronik sistemler, ışık yayan diyotlar ve güneş pili çalışmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle tıp ve biyoteknolojide hastalıkların görüntüleme yöntemleriyle hızlı ve doğru teşhis edilmesinde ve gen tedavilerinde aktif olarak rol almaktadırlar. Şekil 3’de örnek kuantum noktalarının yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Kuantum noktalarının yapısı
Figure 3. The structure of quantum dots

Kuantum noktaları periyodik tabloda II-VI ve III-V grubu elementlerinden elde edilmektedir. Bu nanotaniciklere başlıca CdSe ve CdTe ya da InP ve InAs gibi bileşikler örnek verilebilir. Kuantum noktalarının yüzey kimyaları amin, karboksil ya da merkaptto gibi reaktif grupların biyomoleküllere bağlanması sonucu meydana gelmektedir. Ancak, bu nanokristal bileşiklerinde mevcut olan kadmiyum gibi ağır elementler hücrelerde toksisiteye neden olmaktadır. Bu nedenle kuantum noktalarının sentezlenmesinde CuInS₂/ZnS, PbS, InP, InAs/InP/ZnSe gibi bileşenler tercih edilse bile, bu bileşiklerin absorbanları düşük olduğu için özellikle görüntüleme sistemlerinde kadmiyum bileşikleri ile aynı performansı gösterememektedir. Bu sorunu önlemek için, kuantum noktalarının dış yüzeyleri biyoyumlu malzemelerle kaplanarak veya ligand grupları bağlanarak toksisite önemli ölçüde azaltılmaktadır (Özkan Vardar vd., 2018).

Kuantum noktalarının uygulama alanları, biyomoleküllerin ve hücrelerin etiketlenmesi, hücre içi / hücre dışı takip edilmesi, tek bir biyomolekül / hücrenin dinamiği, biyomoleküllerin in vitro / in vivo lokalizasyonu, biyomoleküllerin veya hücrelerin in vitro / in vivo görüntülenmesi, hasarlı dokuda hücre büyümesinin değerlendirilmesi, pH problemleri enzim reaksiyon kinetiği, çeşitli kanserlerde biyomarker tespiti, bulaşıcı hastalıkların

görüntülenmesi ve algılanması ve protein mikro-ve nano-dizileri olarak kanser biyobelirteçlerinin saptanması başlıkları altında verilebilir (Valideh vd., 2012).

Nanosensörler

Tıp alanında genetik taramalarda, klinik tanımlamalarında, ilaç keşiflerinde, kinetik ölçümlerde, ilaç bağlama mekanizmalarında olmak üzere daha birçok alanda kullanılan nanosensörler, biyomoleküler etkileşimleri doğru zamanlı ve hassas olarak ölçme kabiliyetine sahiptirler (Wang vd., 2019). Yapılan araştırmalar, lazer girişimi litografisi ve iyon aşındırma işlemleriyle silikon oksit kullanılan zeminler ve polietilen teraftalat (PET) gibi polimer kaplama levhalarının kullanıldığı teknolojiler uygulandığını göstermektedir. UV ışınlama sonrası soyulan polimer kaplamalar ile metal ve oksitleri üzerinde biriktirmiş nanokaplar elde edilmektedir. Yine benzer çalışmalarda özellikle altın (Au) (Jimenez-Lopez vd., 2019) ve titanyum dioksit (TiO₂) kullanıldığı nanosensörlere oldukça fazla rastlanılmaktadır (Dang vd., 2019). Titanyum bilindiği gibi biyoyumlu, kararlı, korozyona dayanıklı, manyetik olmayan ve düşük yoğunluklu bir metal olduğu için sıklıkla kullanımı tercih edilmektedir. Çizelge 1'de yapılan literatür araştırmalarına göre bazı nanosensörler ve kullanım alanları örneklendirilmiştir.

Çizelge 1. Literatüre göre bazı nanosensörlerin kullanımı
Table 1. Use of some nanosensors according to the literatures

Kullanım amacı	Nanosensörler	Kaynaklar
Okratoksin tespiti	Siyah fosfor nanosensörleri	(Xiang vd., 2018)
Antikanser ilaçlar	SPR nanosensörleri	(Özkan vd., 2019)
Civa iyonlarının tespiti	Multi model nanosensörler	(Satapathi vd., 2018)
Serum albümin tespiti	Kopolimer nanosensörler	(Rezende vd., 2017)
Sistin tespiti	Kolorimetrik nanosensörler	(Li vd., 2019)
Uçucu organik bileşiklerin tespiti	Kolorimetrik nanosensörler	(Ziyaina vd., 2019)
Hekzasiyanoferratin antioksidant tespiti	Elektrokimyasal nanoelektrotlar	(Arman vd., 2019)
Kadmiyum iyonlarının tespiti	Kuantum nokta bazlı floresans nanosensörler	(Qian vd., 2017)
Acil durum stratejileri	AuNP-bazlı ICTS nanosensörleri	(Zhou vd., 2019)
Organik moleküllerin tespiti	AuNP-bazlı plazma nanosensörleri	(Veglia vd., 2019)
Kurkumin tespiti	Karbon-bazlı nanosensörler	(Gong vd., 2019)

Doğal gaz kullanımının dünyada yaygınlaşmasıyla beraber risk faktörleri de ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, patlayıcı ve tehlikeli gazların hızlı bir şekilde tespit edilmesinde nanokompozitler ve nanosensörler kullanılmaktadır.

Gıda endüstrisinde kullanılan nanosensörler, gıda proses, gıda kalite kontrol, gıda güvenliği, gıda ambalaj ve etiketlerinde, gıda depolama, raf ömrü, mikrobiyal kontaminasyon (Kumar vd., 2019), toksinlerin ve kontaminasyonların tespiti gibi alanlarda yaygınca kullanılmaktadır. Kullanılan nanosensörlere manyetik nanopartiküller (*MNPs*), gümüş nanopartiküller (*AgNPs*), altın nanopartiküller (*AuNPs*), dönüştürücü nanopartiküller, kuantum noktalar (*QDs*), tek duvarlı karbonnanotüpler (*SWNTs*), çok duvarlı karbon nanotüpler (*MWNTs*), nanobarkod teknolojisi ve elektronik burun teknolojileri örnek verilebilir (Srivastava vd., 2018).

Au elementi ve ZnO bileşikleri sıklıkla nanotellerin tasarımında kullanılmaktadır (Lupan vd., 2019; Lupan vd., 2019). Membran hedefli yarı iletken gerilim nanoşeritler tıp alanında oldukça fazla kullanılmaktadır. Benzer çalışmalarda ZnSe/CdS nanoşeritlere, altın (Au), dekstrin gibi polisakkarit kaplamalarına rastlamak mümkündür (Park vd., 2019). Gıda üretim ve dağıtım sistemlerinde nanosensörlere ihtiyaç oldukça fazladır. Farklı metotlarla floresans renkleri yayan nanopartiküller kullanılarak zararlı patojenler hızlı bir şekilde sayı ve tür olarak tespit edilmektedir. Nanosensörlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken özellikler ise seçicilik, kalibrasyon gereksinimi, tekrarlanabilirlik, stabilite, yüksek duyarlılık ve geniş ölçüm aralığıdır. Yapılan literatür çalışmalarında farklı amaçlarla birçok nanosensör sentezlenmiştir. Bu çalışmalara, ochratoxinin elektrokimyasal tespitinde siyah fosforen katmanlı, iki boyutlu nanosensörler tasarlamışlar ve cam karbon elektrotları, karbon nanotüpler ile modifiye edilmesi örnek olarak verilebilir (Xiang vd., 2018). Özkan vd., 2019, etoposide kemoterapi ilaçlarında kullanılmak üzere boron nitrit nanotabakalar ile yüzey plazmon rezonans (SPR) nanosensörler geliştirmişlerdir. Satpathi vd., 2018, civa iyonlarını hassas olarak algılayabilen multimodal

nanosensörlerin sentezlenmesinde süperparamanyetik Fe_2O_3 nanopartiküllerini kullanmışlardır. Bilindiği üzere sığır albüminleri hayvan sağlığı ve süt kalitesi için belirleyici bir role sahiptir.

Rezende vd., 2017, doğal sığır serum albüminlerini tespit etmek için polidiasetilen/triblok kopolimer nanosensörlerini tasarlamışlardır. Li vd., 2019, sistin belirlenmesinde aspartik asit ve seryum nitrat $Ce(NO_3)_3$ kullanarak kolorimetrik nanosensörler tasarlamıştır. Qian vd., 2017, kadmiyum iyonlarının belirlenmesinde silika tabakalarını kullanarak ratiometrik floresans nanosensörler sentezlerken CdTe kuantum noktalar kullanmışlardır. Zhou vd., 2019, altın nanopartikül esaslı şerit nanosensörler sentezlemiş, Gong vd., 2019, kurkuminin kantitatif olarak tespit edilmesi için karbon esaslı kimyasal nanosensörler sentezlemişlerdir. Bu çalışmalar önderliğinde nanosensörlerin yapılmasında kullanılan nanopartikülleri metalik nanopartiküller, manyetik nanopartiküller, dönüştürücü nanopartiküller, kuantum noktalar, grafenoksit ve karbon nanotüpler olarak sınıflandırabiliriz (Srivastava vd., 2018).

Gıda ambalajlarında ve kalite kontrol aşamalarında özellikle gaz sensörleri ve biosensörler kullanılmaktadır. Gaz sensörleri potansiyometrik karbondioksit sensorleri, polimer esaslı sensorler, piezoelektrik kristal sensorleri ve amperometrik oksijen sensorlerinden oluşmaktadır. Optokimyasal sensörler ise daha çok mikrobiyal bozunmaları ve kontaminasyondan dolayı gıda bozunmalarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadırlar. Gıdaların tazelikliğini kontrol edebilmek için ise biosensörlerin kullanımına başvurulmaktadır (Gök vd., 2007).

Gıdalarda akıllı paketleme sistemleri

Akıllı paketleme sistemleri, gıda ürünlerinin uygun çevre koşullarında ve kalite standartlarında muhafaza edilerek tüketicinin sofrasına taşınmasını sağlayan takip, izleme ve kontrol etme mekanizmalarıdır. Gıdanın üretimi ve tüketimi arasında uzun bir zincir vardır. Bu zincirin her bir halkasında gıdaları takip eden sistemlerin

oluşturulması taze ve sağlıklı gıda tüketimi için zorunlu hale gelmektedir. Veri iletme ve veri depolamada taşıyıcı olarak barkodların kullanılması en popüler ve ucuz olan yöntemlerden biridir. Ancak “evrensel ürün kodu (UPC)” barkodlarına yeterli veri girişi sağlanamadığı için gıda güvenliğini sağlamada yetersiz bir metottur. Radyo frekanslı tanımlama (RFID) ise ürün tanıma ve izlemede yardımcı olan bir sistemdir. Etiket, anten, okuyucu, sorgulayıcı ve denetleyici olmak üzere beş temel bileşenden oluşan bir sistemdir. Gıda ürünlerinin depolanması ve yerleştirilmesinin kontrollü yapılması, ürünlerin çıkış/giriş kontrol sürelerinin azalması, ürün satışlarının anında belirlenmesi, son kullanım tarihlerinin izlenebilmesi, firalere ve maliyetlerin azalması RFID sistemlerin avantajları olarak belirtilmektedir (Kocaman vd., 2010; Fuertes vd., 2016).

Akıllı paketlemede sistemlerinde depolama ve bekleme aşamasında ürün ambalajını, çevreyi kontrol eden ve veri desteği sağlayan indikatörler

ve biosensörler olmak üzere iki farklı metot bulunmaktadır.

Biyosensörler

Biyosensörler, reseptör ve dönüştürücü bileşenlerinin bir araya getirilmesi sonucu ortaya çıkarlar. Reseptörler, biyomoleküler bir yapıya sahiptir. Analitlerin, biyolojik algılayıcıların (Enzimler, antikorlar, immuno ajanlar, nükleik asitler, mikroorganizmalar, hücreler, dokular ve seçici olarak etkileşimde bulunan fizikokimyasal dönüştürücülerin (elektrotlar, transistörler, termistörler, optik fiberler, piezoelektrik kristaller) bir araya getirilmesi sonucu fiziksel sinyaller ölçülür. Özellikle gıdalarda antioksidan analizleri için en sıkça kullanılan yöntemlerden biri kolorimetrik biyosensörlerdir (Mukdasai vd., 2019). Ölçülen bu fiziksel sinyallerden elektriksel sinyalleri elde edilir (Tüylek vd., 2017). Biyosensörlerin çalışma prensipleri bu temele dayanmaktadır. Çizelge 2’de bu konuda yapılan literatür araştırmalarının özetleri yer almaktadır.

Çizelge 2. Literatürlere göre bazı biyosensörlerin kullanım alanları

Table 2. Usage areas of some biosensors according to the literatures

Kullanım amacı	Biyosensörler	Kaynaklar
Lizozimin tespiti	Aptamer-bazlı elektrokimyasal biyosensör	(Khan vd., 2018)
Arsenik ve civa tespiti	Metalotiyonin bazlı biyosensör	(Irvine vd., 2017)
Malehit yeşili tespiti	Mikro kantilever bazlı optik biyosensör	(Zhao vd., 2019)
3-metilkinoksalin-2-karboksilik asit tespiti	SPR biyosensör	(Qian vd., 2019)
Escherichia coli tespiti	Amperometrik biyosensör	(Dhull vd., 2019)
Kanser tespiti	İzomeraz bazlı biyosensör	(Ahmad vd., 2019)
Mikroakışkan teknolojisi	SERS bazlı nanosensör	(Teixeira vd., 2019)
Shigella spp tespiti	Floresans nano biosensörler	(Elahi vd., 2019)
Rodamin B nin tespiti	Ratiometrik biosensörler	(Li vd., 2019)
Mikotoksinlerin tespiti	SPR biosensör	(Mahmoudpour vd., 2019)
Aflatoksin B1 tespiti	Elektrokimyasal biosensörler	(Selvolini vd., 2019)
Aflatoksinin çıplak gözle tespiti	Kolorimetrik biyosensör	(Wu vd., 2019)

Nanoteknolojinin, biyosensörlerin yapımında kullanılmasının bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Nano elektronik parçacıklar biyosensörlerin bellek ve işlem yeteneklerini artırdığı gibi, analizlerin kolaylaşmasını da sağlamaktadır. Buna ilaveten mikroorganizmaların teşhisini kolaylaştırma, yüksek seçicilik ve uzun ömürlü olmalarını da

sağlamaktadır (Aydın vd., 2019). Aynı zamanda canlı hücrelere zarar vermeden çalışma imkânı sunmaktadır (Tüylek vd., 2017).

İndikatörler

Gıdaların biyolojik bozulması, karbon içeren kimyasal bileşiklerin ayrılma süreçleri olarak tanımlanabilir. Canlı organizmaların salgıladığı

enzimler ise bozulma için uygun koşulların oluşmasını sağlar. Bozulma süreçleri sıcaklık, nem ve mikroorganizma türemesi ile gerçekleşmektedir. Gıda ürünlerinin sıcaklık geçmişi, tazeliği ve mikrobiyotası hakkında takip sisteminin en başında zaman-sıcaklık indikatörleri ve tazelik indikatörleri gelmektedir.

Zaman-Sıcaklık indikatörleri (TTI)

Zaman-sıcaklık indikatörleri, taşıma, dağıtım ve depolama süreçlerinde gıda ürünlerinin değişen ortam sıcaklıklarının ölçümüne dayanır. Kritik sıcaklıklardan sapmaları göstererek ürünün güvenliğini kontrol altında tutmaya çalışan sistemlerdir. Zaman-sıcaklık indikatörleri difüzyon bazlı, enzim bazlı ve polimer bazlı olmak üzere üç çeşit olarak incelenirler. Zaman-sıcaklık indikatörleri, indikatördeki renk değişimleri ile birlikte genellikle mekanik, kimyasal, elektrokimyasal, enzim ve mikrobiyal değişiklikleri ölçer. Bu akıllı etiketler işlem boyunca referans sıcaklık sapmalarını ve sıcaklık değişikliklerini gösterir (Gök vd., 2006).

Difüzyon-bazlı indikatörler

Bu etiketlerde indikatör olarak genellikle ester boya kullanılır. Farklı erime sıcaklığına sahip kimyasalların kurutma kağıdından yapılmış bir fitile difüzyonu ilkesine dayanır. Sıcaklık değiştiğinde indikatör renk değişir.

Enzim-bazlı indikatörler

Lipitler, sıcaklık artışıyla içsel basınç oluştuğunda enzimatik hidrolize uğrar ve ortamda kaproik asit benzeri asit bileşenleri oluşarak ortam pH değerini düşürür ve asitliği artırır. Böylece pH indikatörünün rengi değişir. Ürüne özgü sıcaklık değerlerine uygun olarak enzim-lipit bileşenlerinin konsantrasyonları ayarlanabilmektedir (Gök vd., 2006).

Polimer-bazlı indikatörler

Diasitilen kristallerinin polimerizasyon sırasındaki renk değişikliğine bağlı olarak sıcaklık değişimlerini göstermektedir.

Tazelik İndikatörleri

Tazelik indikatörleri, mikrobiyal bozunma esnasında meydana gelen metabolitleri ve gaz konsantrasyonlarını tespit etmeye yönelik bir sisteme dayanır. Bu etiketler genellikle modifiye atmosfer paketeleme (MAP) sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Mikrobiyal metabolitlere, pH değişimlerine, hidrojen sülfür ve uçucu nitrojen bileşiklerine duyarlı indikatörler olmak üzere 4 başlıktan oluşmaktadır (Gök vd., 2007). Genel olarak gıda endüstrisinde kullanılan bazı indikatörler ve kimyasal içerikleri Çizelge 3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Gıda uygulamalarında indikatör türleri ve kimyasal yapıları
Table 3. The chemical structure and indicators type in food applications

İndikatör tipi	Kimyasal ayıraç	Gıda uygulamaları
Zaman-sıcaklık indikatörleri (TTI)	Difüzyon bazlı	ester boya
	Enzim bazlı	Lipaz substratı ve enzimler, pH indikatör boya
	Polimer bazlı	diasitilenik monomerler
O ₂ indikatörü	Redoks ve pH boya (Fe/asit, enzimler)	Vakumlanmış ambalajlar (ekmek, kek, pizza, peynir, et ve balık, kahve, kuru gıdalar vs.).
CO ₂ indikatörü	CaO/aktif karbon, askorbat/NaHCO ₃	Modifiye atmosfer paketeleme (et, balık, yağlı tohumlar, kahve vb.).
Etilen tutucular	Aktif karbon, KMnO ₄	Tahıl ürünleri, meyve ve sebze.
Etanol salıcılar	Kapsüllenmiş etanol	Pizza, ekmek ve balık.
Renk indikatörleri	redoks ve pH boya	Mikrodalgada hazırlanan gıdalar
Nem tutucular	silika jel	Sebze, meyve, balık ve kuru gıdalar.
Koku tutucular	Sitrik asit, aktif karbon	Günlük gıdalar, et ve balık.
Mikrobiyal metabolitlere duyarlı indikatörler	Alkol oksidaz, peroksidaz ve kromojenik bir substrat	Sebze ve meyveler.
pH değişimine duyarlı indikatörler	pH boya	Et ve balık.

SONUÇ

Son yıllarda, sağlıklı gıda üretim ve tüketim proseslerinde, gelişen teknolojiler sayesinde oldukça önemli gelişmeler yaşandığı görülmektedir. Bilinçli tüketici olgusunun dünyada yaygınlaşması, beraberinde mevcut sorunlara hızlı, ucuz, doğru ve kalıcı çözümler üretme anlamında nanopartiküller, nanosensörler, biyosensörler ve akıllı paketleme sistemleri gibi bilimsel araştırmalara yoğun ilgi kazandırmaktadır. Gıdalar üzerinde moleküler boyutta gerçekleştirilen değişimler, istenilen formlarda ve fiziksel özelliklerde gıdaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. İstenilen sıcaklığa dayanıklı çikolatalar, çok az miktarda yağ ile kızarabilen patatesler, kalorisi düşük mayonez ve hamburgerler, kilo yapmayan dondurmalar, kolesterolü yükseltmeyen kuruyemiş ürünleri, tansiyon ve şeker hastalıklarını tetiklemeden tuzlu ve tatlı gıdalar, kalorisi düşük unlu mamuller nanoteknoloji ve nanosistemler ile artık hayal ürünü olmaktan çıkmaktadır. Gıda endüstrisinde, bu yeni ve heyecan verici uygulamaları, taşıma sistemleri (miseller, nanoemülsiyonlar, liposomlar ve biyopolimerik nanoparçacıklar), gıda güvenliği, biyogüvenlik (nanosensörler, biyosensörler, akıllı ambalaj sistemleri) ve nanotoksinite gibi gıda uygulamaları takip etmektedir. Gelişen teknolojilerin hızlı bir şekilde endüstrileştirilmesi hayatı her alanda kolaylaştırmakta, konfor seviyesini artırmakta ve yeni geliştirilecek teknolojilere ilham kaynağı olmaktadır.

KAYNAKLAR

Abu-Dief, A.M., Abdel-Mawgoud, A.A.H. (2018). Functionalization of magnetic nanoparticles for Drug Delivery. *SF J Nanochem Nanotechnol*, 1(1):1005.

Ahmad, L., Salmon, L., Korri-Youssoufi, H. (2019) Electrochemical detection of the human cancer biomarker 'autocrine motility factor-phosphoglucose isomerase' based on a biosensor formed with a monosaccharidic inhibitör. *Sens Actuators B Chem*, 299:126933.

Arman, A., Üzer, A., Sağlam, Ş., Erçağ, E., Apak, R. (2019). Indirect electrochemical determination of antioxidant capacity with hexacyanoferrate (III) reduction using a gold nanoparticle-coated

ophenylenediamine- aniline copolymer electrode. *Anal Lett*, 52(8):1282-1297

Aydın, E. B., Aydın, M., Sezgintürk, M.K. (2019). Biosensors and the evaluation of food contaminant biosensors in terms of their performance criteria. *Int J Environ Anal Chem*, DOI:10.1080/03067319.2019.1672675

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 Council of Ministers*, 13-21, Copenhagen-Denmark.

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

Buzby, J.C. (2010). Nanotechnology for food applications. More questions than answers. *J Consum Aff*, 44(3):528- 545.

Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., Watkins, R. (2008). Applications and 57 implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam*, 25(3):241-258.

Cha, D.S., Chinnan, M.S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 44(4):223-37.

Chau, C.F., Wu, S.H., Yen, G.C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends Food Sci Technol*, 18:169-280.

Cui, Y., Wei, Q., Park, H., Lieber, C.M. (2001). Nanowire nanosensors for highly sensitive and selective detection of biological and chemical species. *Sci*, 293:1289-1292.

Cumbul Altay, M., Eroğlu, Ş. (2014). Karbon nanotüp sentezi için metan gazının kullanımı. *AKU J Sci Eng*, 14(OZ5739): 249-253.

Dang, T., Hu, W., Zhang, W., Song, Z., Wang, Y., Chen, M., Xu, H., Liu, G.L. (2019). Protein binding kinetics quantification via coupled

- plasmonic-photonic resonance nanosensors in generic microplate reader. *Biosens Bioelectron*, 142: 111494.
- Das, M., Shim, K.H., Seong, S.A., Yi, D.K. (2011). Review on Gold Nanoparticles and Their Applications Toxicol. *Environ Health Sci*, 3(4):193-205.
- Dawson, L.P., Acton, J.C., Ogale, A.A. (2002). Biopolymer films and potential applications to meat and poultry products. *Fresh Meat / Packaging II. Proceedings of the 55th Annual Reciprocal Meat Conference*, 75-82. Michigan- USA.
- 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. *J Agric Food Chem* 56: 8231-8247.
- Dhull, N., Kaur, G., Jain, P., Mishra, P., Singh, D., Ganju, L., Gupta, V., Tomar, M. (2019). Label-free amperometric biosensor for Escherichia coli O157:H7 detection. *Appl Surf Sci*, 495:143548.
- Elahi, N., Kamali, M., Hadi Baghersad, M., Amini, B. (2019). A fluorescence Nano-biosensors immobilization on Iron (MNPs) and gold (AuNPs) nanoparticles for detection of Shigella spp. *Mater Sci Eng C*, 105:110113.
- Erdogan, A. (2018). Magnetic nanoparticles in the diagnosis and treatment of cancer. *SDU J Nat Appl Sci*, 1(1):23-30.
- Flahaut, M.M.E., Serp, P., Razafinimanana, M. (2012). Introduction to carbon nanotubes. DOI: 10.1007/978-3-540-29857-13
- Garcia, M., Aleixandre, M., Gutierrez, J., Horrillo, M.C. (2006). Electronic nose for wine discrimination. *Sens Actuators B Chem*, 113:911-916.
- Gong, X., Wang, H., Liu, Y., Hu, Q., Gao, Y., Yang, Z., Shuang, S., Dong, C. (2019). A di-functional and label-free carbon-based chem-nanosensor for real-time monitoring of pH fluctuation and quantitative determining of Curcumin. *Anal Chim Acta*, 30;1057:132-144, doi: 10.1016/j.aca.2019.01.012
- Gök, V., Batu, A., Telli, R. (2006). Akıllı paketlenme teknolojisi, Türkiye 9. *Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu/Türkiye
- Gök, V., (2007). Gıda paketlenme sanayinde akıllı paketlenme teknolojisi, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1): 45-58.
- Gubin, S.P., Koksharov, Y.A., Khomutov, G.B., Yurkov, G.Y. (2005). Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties. *Russ Chem Rev*, 74 (6):489- 520.
- Guillermo Fuertes, Ismael Soto, Raul Carrasco, Manuel Vargas, Jorge Sabattin, and Carolina Lagos. (2016). Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *J Sens*, 8, DOI:10.1155/2016/4046061
- Irvine, G.W., Tan, S.N., Stillman, M.J. (2017). A Simple Metallothionein-Based Biosensor for Enhanced Detection of Arsenic and Mercury. *Biosensors*, 7:14
- Jiménez-López, J., Rodrigues, S.S.M., Ribeiro, D.S.M., Ortega-Barrales P., Ruiz-Medina, A., Santos, J.L.M. (2019). Exploiting the fluorescence resonance energy transfer (FRET) between CdTe quantum dots and Au nanoparticles for the determination of bioactive thiols. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectros*, 212: 246–254.
- Jafari, A., Pourakbar, L., Farhadı, K., Mohamadgolizad1, L., Goosta, Y. (2015). Biological synthesis of silver nanoparticles and evaluation of antibacterial and antifungal properties of silver and copper nanoparticles, *Turk J Biol*, 39: 556-561
- Joseph, T., Morrison, M. (2006). Nanotechnology in agriculture and food. Erişim Adresi: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report61.pdf>, Erişim tarihi: 27.02.2015.
- Khan, N.I., Maddaus, A.G., Song, E. (2018). A Low-Cost Inkjet-Printed Aptamer-Based Electrochemical Biosensor for the Selective Detection of Lysozyme. *Biosensors*, 8: 7.
- Kholoud, M.M., El-Nour, A., Eftaiha, A., Al-Warthan, A., Ammar, R.A.A. (2010). Synthesis

- and applications of silver nanoparticles, *Arab. J. Chem*, 3: 135–140.
- Kirwan, M.J., Strawbridge, J.W. (2003). Plastics in food packaging. R Coles, D McDowell and MJ Kirwan eds. *Food Packag Technol*, 174-240.
- Kocaman, N., Sarımehtetoğlu, B. (2010). Gıdalarda akıllı ambalaj kullanımı. *Vet Hekim Der Dergisi*, 81(2): 67-72.
- Kumar, V., Guleria, P., Kumar Mehta, S. (2017). Nanosensors for food quality and safety assessment. *Environ Chem Lett*, 15: 165–177, DOI:10.1007/s10311-017-0616-4.
- Küçükyıldırım, B.O., Akdoğan Eker, A. (2012). Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(630): 34-44.
- Li, Y., Zhang, Z., Tao, Z., Gao, X., Wang, S., Liu, Y. (2019). A Asp/Ce nanotube-based colorimetric nanosensor for H₂O₂-free and enzyme-free detection of cysteine, *Talanta*, 196:556–562
- Li, Y., Hou, L., Shan, F., Zhang, Z., Li, Y., Liu Qiuchen Peng, Y., He, J., Li, K. (2019). A Novel Aggregation-Induced Emission Luminogen Based Molecularly Imprinted Fluorescence Sensor for Ratiometric Determination of Rhodamine B in Food Samples. *Chemistry Select*, 4: 11256– 11261, DOI: 10.1002/slct.201903141
- Lupan, O., Postica, V., Pauporté, T., Viana, B., Terasa, M.I., Adelung, R. (2019). Room temperature gas nanosensors based on individual and multiple networked Au-modified ZnO nanowires. *Sens Actuators: B Chem*, 299:126977.
- Lupan, O., Postica, V., Wolff, N., Su, J., Labat, F., Ciofini, I., Cavers, H., Adelung, R., Polonskyi, O., Faupel, F., Kienle, L., Viana, B., Pauporté, T. (2019). Low-Temperature Solution Synthesis of Au-Modified ZnO Nanowires for Highly Efficient Hydrogen Nanosensors. *ACS Appl Mater Interfaces*, 11(35): 32115-32126
- Mahmoudpoura, M., Ezzati Nazhad Dolatabadid, J., Torbatib, M., Pirpour Tazehkande, A., Homayouni-Radb, A., De la Guardia, M. (2019). Nanomaterials and new biorecognition molecules based surface plasmon resonance biosensors for mycotoxin detection. *Biosens Bioelectron*, 143:111603
- Mcclements, D.J. (2011). Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51: 285–330.
- Mukdasai, S., Uppachaib P., Srijaranai, S. (2019). A novel colorimetric paper sensor-based on the layer-by-layer assembled multilayers of surfactants for the sensitive and selective determination of total antioxidant capacity. *RSC Adv*, 9: 28598
- Özkan, A., Atar, N., Yola, M.L. (2019). Enhanced surface plasmon resonance (SPR) signals based on immobilization of core-shell nanoparticles incorporated boron nitride nanosheets: Development of molecularly imprinted SPR nanosensor for anticancer drug, Etoposide. *Biosens Bioelectron*, 130:293–298.
- Özkan Vardar, D., Aydın, S., Başaran, N. (2018). Kuantum Nokta Nanopartiküllerin Toksik Etkilerine Genel Bakış. *J Lit Pharm Sci*, 7(1):82-8.
- Pandey, P., Dahiya, M. (2016). Carbon nanotubes: Types, methods of preparation and applications. *Int J Pharm Sci*, 1(4):15-21.
- Park, J., Kuo, Y., Li, J., Huang, Y.L., Miller, E. W., Weiss, S. (2019). Improved Surface Functionalization and characterization of membrane targeted semiconductor voltage nanosensors. *J Phys Chem Lett*, 10 (14): 3906-3913.
- Peng, D., Kavanagh, O., Gao, H., Zhang, X., Deng, S., Chen, D., Liu, Z., Xie, C., Situ, C., Yuan, Z. (2019). Surface plasmon resonance biosensor for the determination of 3-methylquinoxaline- 2-carboxylic acid, the marker residue of olaquinox, in swine Tissues. *Food Chem*, 302:124623
- Rauwel, P., Rauwel, E., Ferdov, S., Singh, M.P. (2015). Silver Nanoparticles: Synthesis, properties, and applications. *Adv Mater Sci Eng*, DOI:10.1155/2015/624394
- Rezende, J.P., Dias Ferreira, G.M., Mendes da Silva, L.H., Hepanhol da Silva, M.C., Pinto, M.S., Santos Pires, A.C.D.S. (2017). Polydiacetylene/triblock copolymer nanosensor

- for the detection of native and free bovine serum albumin. *Mater Sci Eng C*, 70:535–543.
- Rhim, J.W., Hong, S.I., Park, H.M., Ng, K.W. (2006). Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. *J Agric Food Chem*, 54(16):5814–5822.
- Rios-Meraa, J. D., Saldaña, E., Ramírez, Y., Auquiñivín, E. A., Alvim, I. D., Contreras-Castillo, C. J. (2019). Encapsulation optimization and pH- and temperature-stability of the complex coacervation between soy protein isolate and inulin entrapping fish oil. *LWT - Food Sci Technol*, 116:108555
- Robinson, D.K.R., Morrison, M.J. (2009). Nanotechnology developments for the agrifood sector - report of the observatory NANO. Erişim Adresi: http://nanopinion.eu/sites/default/files/full_report_nanotechnology_in_agrifood_may_2009pdf, Erişim Tarihi 05.03.2015.
- Satapathi, S., Kumar, V., Kumar Chini, M.K., Bera, R., Halder, K.K., Patra, A. (2018). Highly sensitive detection and removal of mercury ion using a multimodal nanosensor. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 16: 120–126.
- Selvolinia, G., Lettieria, M., Tassonib, L., Gastaldello, S., Grillo, M., Maranb, C., Marrazza, G. (2019). Electrochemical enzyme-linked oligonucleotide array for aflatoxin B1 Detection. *Talanta*, 203: 49–57
- Serfert, Y., Drusch, S., Schwarz, K. (2010). Sensory odour profiling and lipid oxidation status of fish oil and microencapsulated fish oil. *Food Chem*, 4: 968–975.
- Shah, M., Badwaik, V., Kherde, Y., Kumar Waghwan, H., Modi, T., Aguilar, Z.P., Rodgers, H., Hamilton, W., Marutharaj, T., Webb, C., Lawrenz, M.B., Dakshinamurthy, R. (2014). Gold nanoparticles: various methods of synthesis and antibacterial applications, *Front Biosci*, 19:1320–1344.
- Slepicka, P., Slepicková Kasálková, N., Siegel, J., Kolská, Z., Svorčík, V. (2020). Methods of Gold and Silver Nanoparticles Preparation. *Materials*, DOI:10.3390/ma13010001
- Srivastava, A. K., Dev, A., Karmakar, S., (2018). Nanosensors and nanobiosensors in food and agriculture. *Environ Chem Lett*, 16: 161–182.
- Qian, J., Wang, K., Wang, C., Ren, C., Liu, Q., Hao, N., Wang, K. (2017). Ratiometric fluorescence nanosensor for selective and visual detection of cadmium ions using quencher displacement-induced fluorescence recovery of CdTe quantum dots-based hybrid probe. *Sens Actuators B*, 241:1153–1160
- Qian, L., Wang, K., Zhu, W., Han, C., Yan, C. (2019). Enhanced sensing ability in a single-layer guided-mode resonant optical biosensor with deep grating, *Opt Commun*, 452: 273–280.
- Teixeira, A., Hernández-Rodríguez, J. F., Wu L., Oliveira, K., Kant, K., Pairo, P., Diéguez, L., Abalde-Cela, S. (2019). Microfluidics-Driven Fabrication of a Low Cost and Ultrasensitive SERS-Based Paper Biosensor. *Appl Sci*, 9: 1387, DOI:10.3390/app9071387
- Torres-Giner, S., Gimenez, E., Lagaron, J.M. (2007). Characterization of the morphology and thermal properties of Zein Prolamine nanostructures obtained by electrospinning. *Food Hydrocoll*, 22: 601–614.
- Tüylek, Z. (2017). Biyosensörler ve nanoteknolojik etkileşim, *BEU J Sci*, 6(2), 71–80.
- Veglia, A.V., Guillermo Bracamonte, A. (2019). β -Cyclodextrin grafted gold nanoparticles with short molecular spacers applied for nanosensors based on plasmonic effects. *Microchem J*, 148:277–284
- Wang, H., Rao, H., Luo, M., Xue, X., Xue, Z., Lu, X. (2019). Noble metal nanoparticles growth-based colorimetric strategies: From monochrometric to multichrometric sensors. *Coord Chem Rev*, 398:113003
- Wu, J., Zeng, L., Li, N., Liu, C., Chen, J. (2019). A wash-free and label-free colorimetric biosensor for naked-eye detection of aflatoxin B1 using G-quadruplex as the signal reporter. *Food Chem*, 298:125034.
- Xiang, Y., Camarada, M.B., Wen, Y., Wu, H., Chen, J., Li, M., Liao, X. (2018). Simple voltammetric analyses of ochratoxin A in food

- samples using highly-stable and anti-fouling black phosphorene nanosensor. *Electrochim Acta*, 282: 490-498.
- Valizadeh, A., Mikaeili, H., Samiei, M., Mussa Farkhani, S., Zarghami, N., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Davaran, S. (2012). Quantum dots: synthesis, bioapplications, and toxicity. *Nanoscale Res Lett*, 7: 480.
- Vatta, L. L., Sanderson, R. D., Koch, K. R. (2006). Magnetic nanoparticles: Properties and potential applications. *Pure Appl Chem*, 78(9):1793-1801. DOI: 10.1351/pac200678091801.
- Yadav, J. (2018). Synthesis and characterization of gold nanoparticles. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, 4(4): 220-230
- Zhou, Y., Ding, L., Wu, Y., Huang, X., Lai, W., Xiong, Y. (2019). Emerging strategies to develop sensitive AuNP-based ICTS Nanosensors. *Trend Anal Chem*, 112:147-160.
- Ziyaina, M., Rasco, B., Coffey, T., Ünlü, G., Sablani, S. S. (2019). Colorimetric detection of volatile organic compounds for shelf-life monitoring of milk. *Food Control*, 100: 220-226.
- Zhao, Y., Gosai, A., Shrotriya, P. (2019). Effect of receptor attachment on sensitivity of label free microcantilever based biosensor using malachite green aptamer, *Sens Actuators: B Chem*, 300:126963.
- Zulli, F., Belser, E., Schmid, D., Liechti, C., Suter, F. (2006). Preparation and properties of Coenzyme Q10 nanoemulsions. *Cosmet Sci Technol*, 40-46.