



ELEKTROEĞİRME YÖNTEMİNE DAYALI NANOSENSÖRLERİN GIDA ALANINDAKİ UYGULAMALARI

Meryem Yılmaz, Aylin Altan*

Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Mersin, Turkey

Geliş / Received: 21.09.2017; Kabul / Accepted: 01.10.2017; Online baskı / Published online: 16.11.2017

Yılmaz, M., Altan A. (2017). Elektroegirme yöntemine dayalı nanosensörlerin gıda alanındaki uygulamaları. *GIDA* (2017) 42 (6): 708-725 doi: 10.15237/gida.GD17057

ÖZ

Son yıllarda, nanoteknoloji ile çok farklı özelliklerle donatılmış yeni nesil nano ürünler üretilmektedir. Geliştirilen en önemli nanoteknoloji ürünlerinden biri nanosensörlerdir. Tıp, sağlık, ilaç, elektronik gibi farklı alanlarda kullanılabilen nanosensörler; günümüzde gıda alanında da yeni yeni kendine yer edinmeye başlamıştır. Özellikle gıdalarda tespit edilmesi istenen unsurlar için hızlı, ekonomik ve güvenilir bir ölçüm olanağı sunan nanosensörler; elektriksel alan çekimiyle nanometre inceliğinde materyal üretimi sağlayan elektroegirme yöntemiyle de üretilebilmektedir. Gıda alanı dâhil pek çok alanda kullanılmakta olan bu yöntemle yeni özellikler kazandırılmış fonksiyonel nano ölçekli sensörler tasarlanabilir. Bu derlemede, gıdaların kalitesi ve güvenliği hakkındaki bilgilere erişim kolaylığı sağlayan elektroegirme yöntemiyle üretilmiş nanosensörlerden bahsedilmektedir.

Anahtar kelimeler: Elektroegirme, nanosensör, gıda

APPLICATIONS OF ELECTROSPINNING-BASED NANOSENSORS IN FOOD FIELD

ABSTRACT

In recent years, a new generation of nano products with many different features has been produced by nanotechnology. One of the most important nanotechnology products developed are nanosensors. Nanosensors currently used in different fields such as medicine, health, and electronics have started to take their place in the field of food as well. Nanosensors offering fast, economical and reliable measurements for the elements that required to be detected in the foods can also be produced by the electrospinning method which provides material production with nanometer diameter using electrical field attraction. Functional nanosensors with new features can be designed with electrospinning method which is used in many areas including the food area. This review paper is about nanosensors produced by electrospinning, providing easy access to quality and food safety information.

Keywords: Electrospinning, nanosensor, food

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ aaltan@mersin.edu.tr

☎ (+90) 324 361 0001

☎ (+90) 324 361 0032

GİRİŞ

Gıdalarda kalite kontrol amaçlı gerçekleştirilen kimyasal analizler genellikle klasik ve enstrümental analiz yöntemleriyle yapılmaktadır. Günümüzde klasik (gravimetrik ve volumetrik) analiz yöntemlerinin kullanımının azalmasının ana nedenleri yavaş olması, düşük konsantrasyonların tayin edilememesi ve otomasyona uygun olmamasıdır (Baltacı ve Gündoğdu, 2012; Gamlı, 2014). Temeli klasik analiz tekniklerine dayalı olan enstrümental yöntemler; spektrofotometri, refraktometri, kolorimetri, polarimetri, potansiyometri, amperometri gibi yöntemlerden oluşmaktadır (Baltacı ve Gündoğdu, 2012). Bu yöntemlerde kullanılan cihazlar laboratuvarında kendine ait bir yer istemekle birlikte oldukça pahalı ve özel bakıma ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla gıda analizlerinde bu cihazlar özel eğitim almış insanlar tarafından kullanılmaktadırlar. Ayrıca enstrümental analizler, çok küçük konsantrasyonları tespit etmek için kullanılabilirken yüksek konsantrasyonlu maddelerde uygulanamazlar (Robinson vd., 2005). Sonuç olarak hem klasik yöntemlerin hem de enstrümental yöntemlerin pek çok olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Fakat nanoteknolojinin gıda alanındaki gelişmeleri incelenip araştırılır ise bu olumsuzlukların giderilmesi mümkündür. Çünkü klasik ve enstrümental analiz yöntemlerini nano boyutta birleştirmeye yardımcı olan nanoteknoloji ile nanosensörler geliştirilebilir. Bu sayede gıda kalite kontrolünde kullanılmak üzere tasarlanan nanosensörler ile gıda; bulunduğu yerden pratik, hızlı, ekonomik ve duyarlı bir şekilde analiz edilebilir (Perez-Lopez ve Merkoci, 2011).

Son yıllarda önemli bir araştırma konusu olan nanosensörler ile gıdaların bileşimi ve besleyicilik değerleri belirlenebilir, tazelik durumları değerlendirilebilir ya da çevresel etkenlerden veya kontaminasyondan kaynaklanan toksik maddeler tespit edilebilir. Ayrıca gıda ambalajı içerisine yerleştirilen nanosensörler ile tedarik zinciri boyunca iç ve dış koşullarda gıdanın durumu izlenebilir (Qureshi vd., 2012). Nanosensörler, tüketicilerin satın aldıkları gıdaların kalitesinin kontrol edilmesini sağlarken aynı zamanda gıda güvenliğini artırarak gıda kaynaklı

zehirlenmelerin görülme oranını da azaltabilir (Duncan, 2011). Bütün bunları gerçekleştirirken klasik ve enstrümental analiz yöntemlerinden daha duyarlı, hızlı ve ekonomiktir. Bu kapsamda kullanışlılığı yüksek olan nanosensörleri, çeşitli yöntemlerle geliştirebilmek mümkündür. Bu yöntemlerden elektroğirme yöntemi ile çok geniş yüzey alanına ve gözenekliliğe sahip nano yapılar üretmek daha kolay ve düşük maliyetlidir (Erdem ve Sancak, 2013). Sonuç olarak gıda alanında nanosensör tasarlamada kullanılacak en uygun yöntemlerden birinin elektroğirme olduğu söylenebilir.

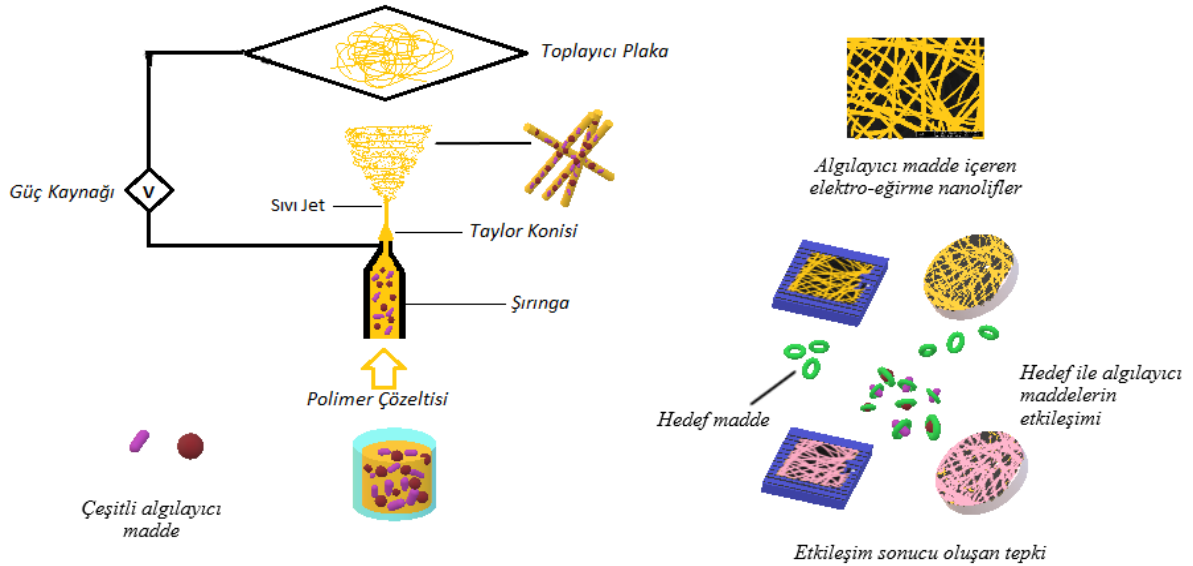
ELEKTROEİRME YÖNTEMİ

Nano boyutlu ürünlerin üretilmesinde kullanılan elektroğirme yöntemi; tıp, ilaç, elektronik, bilgisayar, tekstil, biyoteknoloji, çevre, tarım ve gıda gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Tarhan vd., 2010). Elektroğirme özellikle gıda alanında, çok yeni bir teknoloji olduğu için bilim insanlarının ilgisini daha çok çekmektedir. Bu doğrultuda tarımdan gıda üretimine, besin takviyelerinden gıda ambalajlama sistemlerine kadar gıda sanayisinin neredeyse her alanında bu yöntemin muhtemel kullanım alanları araştırılmaktadır (Duncan vd., 2011; Mirjalili ve Zohoori, 2016). Örneğin bu yöntem; gıdaların oksidasyondan korunmasında, kapsüllenmiş besin maddelerinin, vitaminlerin ve lezzet maddelerinin kontrollü salımında, gıda ambalajlarının gaz ve nem engelleyici tabakalarla geliştirilmesinde ya da akıllı ve aktif paketleme sistemleri için nano materyallerin tasarlanmasında kullanılabilir. Ayrıca elektroğirme yöntemiyle tasarlanan nanosensörler ile gıdalardaki patojenler tespit edilebilir, gıdaların kalite kontrol analizleri yapılabilir ve nakliye sırasında ürünlerin durumu izlenebilir (Qureshi vd., 2012; Mihindukulasuriya, 2012). Bu yöntemin gıda alanında bu kadar geniş bir yer edinebilmesinin nedeni, elektrik alan kuvvetlerinin etkisiyle çekilen polimerlerden nano yapıların oluşumunu sağlayabilmesidir (Bezir vd., 2014).

Elektroğirme yönteminde öncelikle polimerlerin, uygun çözücülerde çözündürülerek ya da ısıyla eritilerek hazırlanması gerekmektedir. Böylelikle hazırlanan bu polimer çözeltileri, cam bir pipete

veya şırıngaya konularak elektroğirme cihazında kullanılabilir (Haider vd., 2015). Şekil 1'de elektroğirme düzeneği basit bir şekilde gösterilmektedir. Cihazın çalışma sisteminde ilk olarak şırıngadaki polimer çözeltisi, şırınga pompası ile besleme ucuna gönderilir. Bu sırada besleme ucuna bağlı olan yüksek voltajlı bir güç kaynağı ile elektrik alan oluşturulmaktadır. Eğer güç kaynağıyla uygulanan voltaj artırılır ise elektriksel kuvvetler, besleme ucundaki çözeltinin viskoelastik kuvvetleriyle mücadeleye gireceğinden şırınga ucundaki sıvının şekli değişir (Chen vd., 2016). Bu kuvvetler eşitlendiği anda ise

şırınga ucundaki sıvı, Taylor konisi olarak tanımlanan konik bir şekle dönüşür. İşte bu konik şekli aldığı andaki voltaja kritik voltaj denir ve bu voltaj besleme ucunda fiskeye şeklinde bir jet oluşumunu sağlar. Bu sırada polimer çözeltisi bir kıvrılma/bükülme kararsızlığından geçer ve çözelti içindeki çözücü buharlaşır. Bunun sonucunda toplayıcıya doğru hareket eden parçacıkların çapları mikro veya nano ölçülere kadar azalır ve böylece istenen özellikte ürünler geliştirilir (Ahmed vd., 2015; Khalf ve Madihally, 2017).



Şekil 1. Basit bir elektroğirme düzeneği ve nanosensörün algılama mekanizmasının şematik diyagramı

ELEKTRO-EĞİRME YÖNTEMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLER

Elektroğirme yöntemiyle elde edilen nanoliflerin morfolojik özellikleri, geliştirilmek istenen ürünün kullanılabilirliğini etkileyen önemli bir etmendir. Bu nedenle farklı alanlarda kullanıma uygun morfolojiye sahip nano yapılar meydana getirmek için elektroğirme yöntemini etkileyen parametrelerin optimize edilmesi son derece önemlidir. Bu parametreler; polimer çözeltisinin özellikleri (molekül ağırlığı, konsantrasyonu, viskozite, elektrik iletkenliği, yüzey gerilimi, çözücünün dielektrik sabiti, pH), prosesle ilgili parametreler (uygulanan voltaj, toplayıcı-igne

arasındaki mesafe, polimer çözeltisi besleme hızı ve sıcaklığı, toplayıcı çeşidi) ve ortam koşulları (sıcaklık, nem, basınç) olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır (Chen vd., 2016; Li ve Wang, 2013). Çizelge 1'de elektroğirme işlemini etkileyen birkaç parametrenin nanolif morfolojisine etkileri özetlenmektedir.

Polimer çözeltisinin özellikleri

Elektroğirme işleminin meydana gelmesi için hazırlanan polimer çözeltisinde kullanılacak olan polimerin yeterli molekül ağırlığına sahip olması gerekmektedir. Çünkü molekül ağırlığı elektroğirmeyi etkileyen diğer (viskozite,

konsantrasyon gibi) onemli degiskenlerle bire bir baglantilidir. Polimerin molekul aghriliginin arttirilmasi polimer zincir uzunluguna bagli olarak viskoziteyi arttirir ve buyuce elektroegirme sirasinda polimer jetinin zincir karmaşikliginin da

artmasına neden olur. Bunun sonucunda da daha kalın lifler meydana getirilir ve boncuk olusumunda azalma gercekleşir (Mihindukulasuriya, 2012).

Çizelge 1. Elektroegirme parametrelerinin nanolif morfolojisi üzerine etkileri (Chen vd., 2016; Li ve Wang, 2013)

Parametreler	Nanolif morfolojisine etkileri
Polimer çözeltisinin özellikleri	
Molekül ağırlık	Arttıka viskozite artar, boncuk sayısı azalır, kalın lifler oluşur.
Konsantrasyon	Arttıka lif çapı da artar.
Viskozite	Molekül ağırlığıyla doğru orantılı tepki verir.
Elektrik iletkenliği	Arttıka lif çapı azalır.
pH	Düşük pH değerinde boncuksu, yüksek pH'da düz ve ince lif oluşur.
Dielektrik sabiti	Arttıka boncuksu yapı ve lif çapı azalır.
Prosesle ilgili parametreler	
Uygulanan voltaj	Arttıka lif çapı başlangıçta azalırken sonra artar.
Akış hızı	Arttıka lif çapı artar, yüksek akış hızında lifler kuruyamaz ve boncuk oluşumu gercekleşir.
Toplayıcı çeşidi	Değıştirilerek örgülü, düzgün sıralı veya rastgele lifler üretilebilir.
Toplayıcı ile iğne arasındaki mesafe	Azaldıkça lifler yeterince kuruyamaz, boncuklaşır ve yassılaşır.
Çözelti sıcaklığı	Arttıka çözücünün buharlaşma hızı artar böylece daha düzgün nanolifler elde edilir.
Ortam koşulları	
Sıcaklık	Arttıka çözücünün buharlaşma hızı artar lif çapı azalır.
Nem	Arttıka lif yüzeyinde gözenekler oluşabilir, ıslak ve kalın lifler oluşabilir.

Elektroegirmede polimer jetinin devamlı düzgün bir şekilde oluşması için polimer çözeltisinin viskozitesi ile konsantrasyonunun belli miktarda olması gerekmektedir. Konsantrasyonun çok düşük olması çözeltiden lif oluşumunun gözlenmesi için yeterli viskoziteye sahip olmadığı anlamına gelir. Belli bir oranda artırılması ise molekül aghriliginin artışında olduğu gibi benzer liflerin oluşmasını sağlamaktadır. Çok fazla artırılmasında ise iğne ucunda tıkanıklığa yol açarak boncuklanmış kusurlu nanolif üretimine hatta elektroegirme işleminin gercekleşmemesine sebep olabilir (Şirin vd., 2013; Haider vd., 2015).

Yüzey gerilimi; çözelti konsantrasyonu ile ters, viskozitesi ile doğru orantılı olarak artıp azalmaktadır. Polimer çözeltisinin birim hacimdeki yüzey alanını azaltma etkisine sahip olan yüzey geriliminin artırılması, çözücü moleküllerinin bir araya toplanma ve çözeltinin

damlacıklara dönüşme eğilimini arttırmaktadır. Böylece yüzey gerilimi, elektroegirme sırasında oluşan liflerde boncuk oluşumuna neden olmaktadır (Şirin vd., 2013; Chen vd., 2016). Polimer çözeltisinin elektrik alan içerisinde çekilebilmesi için belli bir iletkenlik değerine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle iletkenliği olmayan polimer çözeltilerinden lif elde edilemezken iletkenliğin çok yüksek olduğu değerlerde Taylor konisi ve jet oluşumu yerine çoklu jet oluşumu gercekleşebilir. Fakat polimer çözeltisinin iletkenliğinin belli elektroegirme işlem aralıklarında artırılması daha küçük çaplarda nanolif üretimini sağlamaktadır (Mihindukulasuriya, 2012). Yapılan bazı çalışmalarda çözeltilerin pH değerinin değışmesi sonucunda elektrik iletkenliğinin de değıştiğı belirtilmektedir. Asidik çözeltilerde polimerin proton fazlalığından dolayı boncuklu liflerin oluştuğı, bazik değerlerindeki çözeltilerde ise

daha ince ve düzgün liflerin meydana geldiği söylenmektedir (Beypazar 2013). Çözeltinin ne miktarda elektriksel yükü kendisinde hapsedebileceğini ifade eden dielektrik sabiti, çözelti içerisindeki elektriksel yüklerin eşit olarak dağılımını sağlayarak daha düzenli ve homojen elektroçirme nanoliflerinin üretilmesine yardımcı olmaktadır. Dielektrik sabitinin yükselmesiyle boncuk sayısı ve lif çapı azalır ve birim alanda daha çok nanolif toplanmaktadır (Beypazar, 2013; Chen vd., 2016).

Prosesle ilgili parametreler

Elektroçirme yöntemiyle üretim yapabilmek için çözeltiliye belirli bir voltaj değerinin uygulanması gerekmektedir. Uygulanan voltaj ile polimer çözeltisi elektriksel yüklerle yüklendiği için nanolif çapı değişmektedir. Fakat bu değişim voltajda meydana gelen değişimle her zaman aynı sonucu vermemektedir. Voltajın artmasıyla daha fazla elektriksel yük yüklenen çözelti, iğne ucunda kararsız bir jet oluşumuna sebep olur. Böylece daha ince nanolifler oluşabilmekte ve voltaj daha da arttırılınca daha kalın lifler hatta boncuklar gözlemlenebilmektedir (Haider, 2015; Li ve Wang, 2013). Toplayıcı ile iğne arasındaki mesafenin arttırılması ise elektro-çirime işlemi sırasında liflerin havadaki uçuş süresini uzatmaktadır. Sürenin uzaması daha kuru ve küçük çaplarda lif oluşumunu gerçekleştirirken mesafe çok kısaltılırsa lifler kurumadan toplayıcıya ulaşacağından ıslak ve boncuklu yapıda lifler oluşabilmektedir (Mihindukulasuriya, 2012; Mirjalili ve Zohoori, 2016). Polimer çözeltisinin akış hızı ile toplayıcı-iğne arasındaki mesafe arasında ters orantı mevcut olup lif yapısını etkilemektedir. Elektroçirme nanolif morfolojisini etkileyen diğer bir değişken de polimer çözeltisinin sıcaklığıdır. Çözeltinin konsantrasyonu sabit tutulup sıcaklığı arttırılırsa polimer zincirleri arasındaki etkileşimler azalarak zincirler açılır ve böylelikle viskozite azalır. Ayrıca çözücünün buharlaşma hızı arttığı için daha düzgün ve ince lifler elde edilebilir (Şirin vd., 2013).

Elektroçirme yönteminde farklı toplayıcılar kullanıldığında farklı konumlanma şekillerine sahip lifler üretilmekte ve ürünün yüzey

özellikleri değiştirilebilmektedir. Örneğin; sabit plaka üzerinde lifler rastgele toplanırken hareketli toplayıcılarla bilezik, çerçeveler gibi sabit toplayıcılar ile daha kontrollü, istenen özellikte lifler toplanabilmektedir. Toplayıcıda liflerin daha orantılı olarak dağılması ve liflerdeki gözenekliliğin daha kontrollü olarak gelişmesi için hareketli toplayıcılar kullanılmaktadır (Beypazar, 2013; Haider, 2015).

Ortam koşulları

Elektroçirme işleminin yapıldığı ortamın sıcaklığı arttırılırsa çözücünün buharlaşma oranı artacağından toplayıcıda daha düzgün dağılımlı ince lifler elde edilebilmektedir. Fakat ortamın nemi artarsa lifler tam kuruyamadan toplayıcıya ulaşır veya lif yüzeyinde gözeneklilik ve lif çapında artış oluşur (Li ve Wang, 2013; Haider, 2015; Chen vd., 2016).

ELEKTROÇİRME YÖNTEMİNE DAYALI NANOSENSÖRLER

Sensörler, tespit edilmesi istenen değişkenleri fiziksel, elektriksel, kimyasal, optiksel, termal ve manyetik olarak algılama işlemi yapan sistem ya da yapılarıdır. Bunlardan kimyasal bileşikleri veya iyonları birbirinden ayırt edebilen ve miktarlarını elektriksel olarak algılayabilenlerine elektrokimyasal sensörler denilmektedir (Dai, 2016). Bu sensörlerin yapılarına enzim, antikor, hücre, mikroorganizma, reseptörler gibi biyolojik olarak aktif maddeler eklenir ise biyosensörler olarak isimlendirilirler. Fakat bir biyosensör kimyasal veya biyolojik hedef maddeye seçici, sürekli ve hızlı tepki verebilmelidir. Bunun için de bir biyoaktif ya da biyoalgılama materyeli içererek tespit edilmesi istenen maddeyi tanımalı ve transdüserine iletebilmelidir (Dai, 2016). Bir nanosensörün hedef maddeyi algılama mekanizması Şekil 1'de gösterilmektedir.

Fonksiyonel bir sensör sistemi geliştirmede, aktif bileşenleri bir arada tutmak için bir taşıyıcıya gereksinim vardır. Bu da genellikle aktif bileşiklerin bir polimerik film matrisi içine hapsedilmesiyle sağlanmaktadır. Fakat sensörlerin hassasiyetini ve dayanıklılığını iyileştirebilmek için, taşıyıcı olarak kullanılan polimer algılanacak maddeye karşı oldukça geçirgen olmalıdır. Eğer

bu koşul sağlanırsa analit, taşıyıcı matris boyunca iyi bir şekilde dağılıbilir ve reaktif bileşiklerle hızlı tepki verebilir. Ayrıca, geniş bir yüzey alanına sahip bir taşıyıcı tercih edilerek sensör üretiminde kullanılır ise tespit edilmek istenen maddeye karşı sensörün doğru tepki verme oranı da artırılmış olacaktır (Kong vd., 2000). Bu amaçla, elektroğirme yöntemiyle üretilen nano ve mikro lifler en iyi taşıyıcılardır. Çünkü bu malzemeler ultra-ince çaplarına bağlı olarak çok büyük bir yüzey/hacim oranına sahiptirler. Ek olarak elektroğirme nano materyalleri ile maliyet açısından az miktarda malzeme kullanılarak büyük bir miktarda ürün elde edilebilmektedir (Bezir vd., 2014). Bu yöntemle tasarlanan sensörler sayesinde gıdaların özel ekipmanlarla donatılmış laboratuvarlara getirilme zorunluluğu ortadan kalkar ve gıdalar oldukları yerde istenen nitelik açısından analiz edilebilir. Sonuç olarak bu yöntemle hassas, hızlı cevap veren, ön hazırlık gerektirmeyen, iyi eğitilmiş kullanıcılara ihtiyaç duymayan, gıdaların buldukları yerde kullanımına uygun olan, taşınımı kolay, küçük yani oldukça kullanışlı ve etkili sensörler geliştirilebilir (Duncan, 2011; Ahmed vd., 2015).

Son yıllarda gıdalardaki kalite kayıplarını belirlemeye yönelik nanosensörler geliştirmek için elektroğirme yöntemi kullanılmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen nanosensörler Çizelge 2'de, nanosensörlerin optimizasyon koşulları ve nanolif çapları ise Çizelge 3'de gösterilmektedir.

Elektrokimyasal nanosensörler

Elektrik ile kimyanın etkileşiminin birleşmesiyle ortaya çıkan elektrokimyanın yardımıyla kimyasal bilgilerden elektriksel veriler elde edilebilmektedir. Elektrokimyasal nanosensörler ile tespit edilmek istenen madde; öncelikle nano yapıları tanımlayıcı elemana temas eder ve temas sonucunda oluşan kimyasal reaksiyon elektriksel cihazlar ile akım, yük, potansiyel gibi elektriksel verilere dönüştürülerek algılanır (Dai, 2016). Elektroğirme yöntemi kullanılarak tasarlanmış elektrokimyasal nanosensörlerin gıda alanındaki uygulamalarıyla ilgili yapılan bilimsel çalışmalar aşağıda açıklanmaktadır.

Ksantin (Xa) ve trimetilamin (TMA) balıklarda gıda kalite kontrolünün belirlenmesinde önemli

parametrelerdir. Bozulma sürecine giren balıklarda ksantin ve hipoksantin (Hxa) birikimi, adenin nükleotid bozunmasının başlıca metabolitleri olarak meydana gelmektedir. Bu nedenle, balıkların tazelik durumları Hxa veya Xa konsantrasyonu ile yansıtılabilir. Bu konsantrasyon değerlerini belirlemek için genellikle yüksek maliyet ve uzun süren ön hazırlık gibi olumsuz özelliklere sahip olan enzimatik yöntemler kullanılmaktadır (Dalkıran vd., 2017). Fakat enzimatik olmayan elektrokimyasal yaklaşım oldukça hassas, ucuz ve hızlıdır. Bu anlamda, Tang ve diğerleri (2011) elektroğirme yöntemiyle poliakrilonitril (PAN) nanolifinden oluşan modifiye elektrot içerikli (Çizelge 3), duyarlı, enzimatik olmayan amperometrik bir Xa nanosensörünü tasarlamışlardır. Bu çalışmada önerilen enzimatik olmayan Xa nanosensör, 0.85 V'de (Hxa'nın bu potansiyel altında müdahalesi olmadığından) Xa konsantrasyonunu belirleyerek balıkların tazeliğini tahmin etmek için kullanılmıştır. Balık örneklerinde yapılan deneyler sonucunda, nanosensörün balıkların tazeliğini belirlemede uygun ölçümler sağlayabildiği, hızlı tepki, düşük algılama limiti, iyi kararlılık ve seçicilik gösterdiği belirtilmektedir (Tang, 2011). Li ve diğerleri (2015) farklı NiO içeriğine sahip p-tipi NiO/n-tipi ZnO heterokavşaklı, polivinilpirolidon (PVP) nanolifleri elektroğirme (Çizelge 3) ve kalsinasyon ile sentezleyerek TMA sensörünü geliştirmişlerdir. Sensörün TMA algılama performansı incelendiğinde, NiO içeriğinin performans üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenmektedir. Ayrıca çalışmada p-tipi NiO/n-tipi ZnO heterokavşaklı nanolif yapısına sahip olan sensörün; iyi seçicilik, doğrusallık ve hızlı tepki özellikleri ile pratik TMA analizleri için umut verici olduğu belirtilmektedir (Li vd., 2015). Li ve diğerleri (2016) koaksiyel elektroğirme yöntemiyle (Çizelge 3), metal oksit yarı iletken (MOS) çekirdek kabuklu hetero-yapılı PVP nanoliflere dayanan TMA sensörünü tasarlamışlar ve sensörün gaz algılama özelliğini araştırmışlardır. Geliştirilen sensörün; tekli MOS nanolif tabanlı sensörlere göre yüksek seçicilik, hızlı tepki verdiği ve TMA'yı tespit etmeye yönelik gelişmiş bir gaz algılama özelliğine sahip olduğu ifade edilmektedir (Li vd., 2016).

Çizelge 2. Gıda alanında elektroğirme yöntemiyle üretilen sensörler

Sensör çeşidi	Algılanan madde	Kullanım amacı	Kaynak
Elektrokimyasal nanosensörler	Ksantan		Tang vd., 2011
	Trimetilamin (TMA)	Balıkların tazeliğini belirlemede	Li vd., 2015; Li vd., 2016
	Aflatoksin B1 (AFB1)	Gıda kalite kontrolü	Babakhanian vd., 2015; Xu vd., 2016
	Askorbik Asit (AA)	Meyve ve sebzelerin kalite kontrolü	Fuenmayor vd., 2014
	Biyojen aminler	Gıda kalite kontrolü	Marega vd., 2015
	E. coli	Gıda güvenliği	Shaibani vd., 2016
	Tetrasiklin	Gıda kalite kontrolü	Scagion vd., 2016
Enzime dayalı elektrokimyasal nanobiyosensörler	Fenolik bileşikler	Meyve ve sebzelerin kalite kontrolü	Arecchi vd., 2010
	Pirimifos-metil	Gıda kalite kontrolü	El-Moghazy vd., 2016
	Glikoz	Gıda kalite kontrolü	Scampicchio vd., 2010, Mason vd. 2016
Aptamere dayalı elektrokimyasal biyosensör	Bisphenol A	Gıda kalite kontrolü	Kim vd., 2016
Kolorimetrik nanosensör	Uçucu aroma bileşikleri	Gıda kalite kontrolü	Yoon vd., 2007
	Oksijen	Gıda ambalajında sızıntı göstergesi	Mihindukulasuriya, 2012
	Hidrojen peroksit	Gıda kalite kontrolü	Senthamizhan vd., 2016
	pH		Devarayan ve Kim, 2015
	Biyojen aminler, pH	Gıda kalite kontrolü	Geltmeyer vd., 2016
Gravimetrik sensör	Uçucu aroma bileşikleri	Gıda kalite kontrolü	Khoshaman ve Bahreyni, 2012

Çizelge 3. Geliştirilen sensörlerin optimizasyon koşulları ve nanolif çapları

Algılanan madde	Polimer Çözücü	Optimizasyon	Ortalama nanolif çapı	Kaynak
Ksantan (Xa)	PAN DMF	Uyg. voltaj: 30 kV Mesafe: 30 cm Kons: %8	200-400 nm	Tang vd., 2011
Fenolik bileşikler	naylon-6 formik asit	Akış hızı: 0.03 mL/h Uyg. voltaj: 24 kV Mesafe: 80 mm Toplayıcı: bakır tel halka (80 mm çapında)		Arecchi vd., 2010
Uçucu aroma bileşikleri	TEOS,PEO Kloroform	Uyg. voltaj: 15 kV Toplayıcı: alüminyum plaka		Yoon vd., 2007
Biyojen amin, pH	TEOS, APTES DCM, etanol	Akış hızı: 1 mL/h Uyg. voltaj: 20-24kV Mesafe: 15 cm Toplayıcı: dönen silindir Nem: %34 Sıcaklık: 20±1 °C	570-674 nm	Geltmeyer vd., 2016
Glikoz	Naylon-6 Formik asit	Akış hızı: 0.03 mL/h Uyg. voltaj: 24 kV Mesafe: 80 mm Toplayıcı: bakır tel halka (80 mm çapında)		Scampicchio vd., 2010
Uçucu aroma bileşikleri	MOF Aseton	Akış hızı: 0.6 mL/h Uyg. voltaj: 15 kV Mesafe: 20 cm Kons: %2		Khoshaman ve Bahreyni, 2012
Hidrojen peroksit	Polisülfon DMAc	Akış hızı: 0.75 mL/h Uyg. voltaj: 16 kV Mesafe: 15 cm Nem: %20 Sıcaklık: 22 °C Kons: %35	526-648nm	Senthamizhan vd., 2016
Pirimifos-metil	CS, PVA su, asetik asit	Uyg. voltaj: 18 kV Mesafe: 15 cm Toplayıcı: SP elektrot Kons: %8 (PVA), %3 (CS); 60:40	100nm	El-Moghazy vd., 2016
Aflatoksin B1 (AFB1)	PAN Su	Akış hızı: 0.008 mL/min Uyg. voltaj: 18 kV Mesafe: 20 cm Nem: %47 Toplayıcı: GC elektrot	300-500nm	Babakhanian vd., 2015
Tetrasiklin	PANI, PA6 HFID	Akış hızı: 0.01 mL/h Uyg. voltaj: 16 kV Mesafe: 5 cm Toplayıcı: dönen ID elektrot Kons: %5 (PA6), %5 (PA6/PANI)	276nm (PA6) 137nm (PA6/PANI)	Scagion vd., 2016
Trimetilamin (TMA)	PVP DMF, etanol	Uyg. voltaj: 20 kV Mesafe: 20 cm	100nm	Li vd., 2015
Trimetilamin (TMA)	PVP DMF	Koaksiyal iç/dış Akış hızı: 0.4/0.6 mL/h Uyg. voltaj: 16 kV Mesafe: 15 cm	160-180nm	Li vd., 2016

Çizelge 3 devam ediyor

Biyojen aminler	PVA su, etanol	Akış hızı: 0.003 mL/min Uyg. voltaj: 12 kV	140-180nm	Marega vd., 2015
pH	CA Aseton, dimetil asetamid	Uyg. voltaj: 10 kV Mesafe: 18 cm Nem: %40-50 Sıcaklık: 25°C Kons: %7-8	228±118nm	Devarayan ve Kim, 2015
Bisphenol A	PAN, PMMA DMF	Akış hızı: 10 mL/min Uyg. voltaj: 18 kV Mesafe: 15 cm	300nm	Kim vd., 2016
Oksijen	PEO etanol, su	Uyg. voltaj: 6-7 kV Mesafe: 20 cm Nem: %60 Sıcaklık: 22°C Kons: %5	400-800nm	Mihindikulasuriya, 2012
Askorbik Asit (AA)	Naylon-6 Formik asit	Akış hızı: 0.15 mL/h Uyg. voltaj: 25 kV Mesafe: 11 cm Kons: %23	95±25nm	Fuenmayor vd., 2014
Glikoz	Naylon-6 Formik asit	Akış hızı: 0.02 mL/min Uyg. voltaj: 25 kV Mesafe: 13 cm Nem: %40 Toplayıcı: sabit plaka		Mason vd. 2016
Aflatoksin B1 (AFB1)	PMMA, n,n-Dimetil formamid	Uyg. voltaj: 20 kV Kons: %8	200nm	Xu vd., 2016
<i>E. coli</i>	PAA*, PVA MilliQ water	Akış hızı: 0.3 mL/h Uyg. voltaj: 20 kV Mesafe: 15 cm	340±50nm	Shaibani vd., 2016

*PAA: poliakrilik asit, PVA: polivinil alkol, TEOS: tetraetilortosilikat, PEO: polietilen oksit, CA: selüloz asetat, PMMA: Polimetilmetakrilat, PA6: poliamid-6, PANI: polianilin, APTES: (3-aminopropil) trietoksisilan, PAN: poliakrilonitril, PVP: polivinilpirolidon, MOF: metal organik sistem (metal organic framework), HFID: 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol, DMF: dimetilformamid.

Gıdaların taşınması ve depolanması sırasında bulaşan ve insan sağlığına zararlı mikotoksinlerden birisi olan aflatoksinler; çeşitli gıdalarda değişen miktarlarda AFB1, AFB2, AFG1 ve AFG2 gibi formlarda bulunmaktadır (Bakırcı, 2014; Can ve Velioglu, 2017). Babakhanian ve diğeri (2015) elektroegirme yöntemiyle (Çizelge 3), Lake Red C (LRC) pigmentlerini içeren PAN nanoliflerini çıplak camı karbon (GC) elektrotunun yüzeyine doğrudan kaplayarak modifiye edilmiş GC/LRC-PAN elektrotlu yeni bir elektrokimyasal nanosensör geliştirmişlerdir. AFB1'i tespit etmek için geliştirilen bu nanosensör kümes hayvanlarının kan serumu ve yem örneklerinde test edilmiştir. Tekrarlanan testler sonucunda sensörün, herhangi bir engelle karşılaşmadan örneklerdeki AFB1'i kolaylıkla ayırt ettiği ve miktarını da yüksek duyarlılıkla analiz edebildiği belirtilmiştir (Babakhanian vd., 2015). Xu ve diğeri (2016) AFB1'in tespiti için ilk kez etiketsiz elektrokemilüminesans (label-free ECL) immünosensörünü, manyetik elektrot üzerinde Fe₃O₄ ile polimetil metakrilattan oluşan çözüldüden elde edilen elektroegirme nanolifleri (Fe₃O₄-NFs) (Çizelge 3), karbon nanotüpler (CNHs) ile birleştirerek tasarlamışlardır. Yüksek alan yüzeyi ve iyi biyo uyumluluk içeren Fe₃O₄-NF'ler sayesinde antikora çok sayıda bağlanma alanı oluşturulmuştur. Böylece sensörün, AFB1 için yüksek duyarlılık ve düşük algılama limitine sahip olduğu belirtilmektedir (Xu vd., 2016).

Gıdalara çeşitli yollarla bulaşan *Escherichia coli* (*E. coli*) insanlarda çeşitli enfeksiyonlara neden olmaktadır. Gıda zehirlenmelerine yol açan *E. coli*'nin gıdalarda varlığı, gıda güvenliği kapsamında aranmaktadır (Basu vd., 2014, Li vd., 2017). Bu nedenle de tespit süresinin kısaltılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Shaibani ve diğeri (2016) ışıkla yön gösterilebilir potansiyometrik sensörün (LAPS, light addressable potentiometric sensor) hassas tabakasını elektroegirme poliakrilik asit/polivinil alkol (PAA/PVA) nanolifler (Çizelge 3) ile birleştirerek *E. coli* varlığını başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir. Nanolifler ile D-mannozun çapraz olarak bağlanmasıyla geliştirilen LAPS

sensörüyle *E. coli* tespitinin 60 dakika sürdüğü ifade edilmektedir (Shaibani vd., 2016).

Gıdalardaki bileşenleri, meydana gelen değişimleri ve bulaşmaları elektriksel yolla tespit eden elektronik dil (electronic tongue) teknolojisi insan dili temel alınarak geliştirilmektedir (Wadehra ve Patil, 2016). Bu teknolojinin en iyi şekilde çalışabilmesi için son derece hassas, hızlı ve doğru ölçüm yapabilen algılama birimlerine sahip olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu birimleri oluşturan sensörün aktif katmanının nano çaplı malzemelerle güçlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir (Mercante vd., 2015; Phat vd., 2016). Scagion ve diğeri (2016) gıdalarda, veteriner tıbbi ürünlerine bağlı antibiyotik kalıntılarında en çok karşılaşılan olan tetrasiklinleri (TCs) süt örneklerinde tespit etmeye yönelik elektroegirme yöntemiyle üretilmiş nanoliflerle sensörün aktif algılama katmanını oluşturmuşlardır. Bu poliamid-6/polianilin (PA6/PANI) nanolif katmanı (Çizelge 3), altın iç içe geçmiş mikro elektrotlara (IDEs) başarılı bir şekilde yerleştirilerek bir empedimetrik elektronik dil sensörünü meydana getirmiştir. Süt örneklerinde test edilen bu sensör ile izin verilen maksimum kalıntı seviyesinin altındaki tetrasiklin miktarları tespit edilebilmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada; elektroegirme nanoliflerin iletilmesiyle oluşturulan elektronik dil sensörünün, süt örneklerinin rutin analizlerinde kolaylıkla kullanılabilceği vurgulanmaktadır (Scagion vd., 2016).

Meyve ve sebzelerde değişken miktarlarda bulunan askorbik asit (C vitamini), hastalıklardan korunmada (Çötel ve Karataş, 2014) ve bazı endüstriyel gıdaların üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Fuenmayor ve diğeri (2014) farklı meyve türlerinde askorbik asiti (AA) tespit etmek için yüzey baskılı (screen-printed, SP) karbon elektrodunu elektroegirme Naylon-6 (SP-NFM) nanolifler (Çizelge 3) ile kaplayarak tek kullanımlık bir amperometrik sensör oluşturmuşlardır. Çalışmada SP-NFM sensör ile meyve örneklerinden herhangi bir özüt alınmadan, direk meyve üzerinden AA tespit edilebildiği belirtilmektedir. Elektroegirme nanoliflerin sensöre; hız, seçicilik, duyarlılık

katmakla birlikte fenolik bileşiklere karşı da seçici bir bariyer sağladığı vurgulanmaktadır (Fuenmayor vd., 2014).

Biyojen aminler, özellikle proteince zengin ve fermente edilmiş gıda maddelerinin üretimi, işlenmesi ve depolanması sırasında oluşmaktadır ve gıdaların bozulmasına, gıda zehirlenmesine yol açan bileşiklerdir (Yerlikaya ve Gökoğlu, 2002). Marega ve diğerleri (2015) gümüş nano partüküllerini (AgNP) içeren polivinil alkolden (PVA) oluşan nanolifleri (Çizelge 3), elektroğirme yöntemiyle cam substratların yüzeyine çöktürerek biyojen aminlerin tespiti için lokalize yüzey plazmon rezonans (LSPR) sensörünü tasarlamışlardır. Etilendiamin (EDA) buharı ve taze karides etinden yayılan biyojen amin buharına maruz bırakılan sensörün başarılı bir şekilde çalıştığı belirtilmiştir (Marega vd., 2015).

Enzime dayalı elektrokimyasal nanobiyosensörler

Biyosensörler, tespit edilmesi istenen maddeyi biyolojik tanımlayıcı elementler (biyoreseptör) ve fiziksel detektörler ile analiz eden araçlardır. Biyoreseptör; enzimlerden, proteinlerden, antikorlardan, antijenlerden, mikroorganizmalardan, hücrelerden vb. meydana gelebilir ve biyolojik sinyal üretir. Bu sinyal bir transformatör tarafından tespit edilen elektrik çıkışına dönüştürülür. Transformatörler (elektrokimyasal, optik, termal vb) analitin biyolojik element ile interaksyonu sonucu açığa çıkan sinyali elektrik sinyali, sıcaklık ya da kütle değişimi gibi daha kolay ölçülebilir sinyallere dönüştürmektedir (Wei, 2012). Genel olarak, bir biyoreseptör molekülü transformatör yüzeyine tutunur ve analit moleküle seçici olarak bağlanması beklenmektedir. Biyoreseptörün sensör yüzeyine tutunması, biyosensörün son performansını etkileyen temel etmendir. Bu kapsamda nanolif ve nano ağlar gibi nano büyüklükteki materyaller, biyosensörlerin üretilmesi ve geliştirilmesinde önemli katkılarda bulunabilirler (Perez-Lopez ve Merkoci, 2011; Wei, 2012). Aşağıda gıda alanında yapılan bilimsel çalışmalardan enzime dayalı elektroğirme nanolif

tabanlı elektrokimyasal nanobiyosensörler açıklanmaktadır.

Fenolik bileşikler, gıdaların tüketimi açısından önemli olan (oksidatif stabilite, renk, tat ve lezzet gibi) kalite özelliklerini etkileyen ve aktif birer doğal antioksidan olarak vücut savunmasında olumlu etkileri olan bileşenlerdir (Sernikli, 2015). Bu önemli bileşiklerin analizinde gaz kromatografisi ve spektrofotometri gibi birçok yöntem kullanılmakla birlikte çok sayıda amperometrik biyosensör de geliştirilmiştir. Arecchi ve diğerleri (2010) da elektroğirme yöntemini bu fenolik bileşiklerin tespitinde bir nanosensör geliştirmek için uygulamışlardır. Bunun sonucunda elektroğirme yöntemiyle üretilmiş naylon-6 nanolif (Çizelge 3) esaslı tirozinaz elektrotlu amperometrik bir biyosensör tasarlanmıştır. Gerçek örneklerde yapılan deneylerde geliştirilen biyosensörün işlevişi test edilerek 16 saniyelik bir tepki süresi, 0.05 μM 'lik bir tespit limiti ve 100 μM 'ye kadar bir doğrusallık gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca elektroğirme yöntemiyle tasarlanan bu tirozinaz biyosensörünün; yüksek hassasiyet, uzun ömür ve tekrarlanabilirlik özelliklerine de sahip olduğu söylenmektedir (Arecchi vd., 2010).

Gıda ürünlerinin üretilmesinde ve depolanmasında kullanılan pestisitlerin bilinçsiz ve kontrolsüz olarak kullanımı (Kataoka ve Takagi, 2013; Özdal vd., 2016); zararlılarda dayanıklılık geliştirmekte ve kalıntıları insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkilemektedir (Vymazal ve Brezinova, 2015, Kaplan, 2016). Bu pestisitler arasında yer alan pirimifos-metil; temas ya da solunum yoluyla hedef organizmada biyokimyasal etki oluşturur ve böylece asetilkolinesteraz enzimini inhibe ederek ürünleri, zararlılara karşı korumaktadır (EFSA, 2015). Bu nedenle, El-Moghazy ve diğerleri genetiği değiştirilmiş asetilkolesterazı hareketsizleştirmek için destek maddesi olarak, toksik olmayan, biyolojik olarak bozunur ve maliyet açısından ucuz olan kitosan (CS) ve poli(vinilalkol) (PVA) polimerlerinden oluşan biyoaktif nanolifleri elektroğirme yöntemiyle üretmişlerdir (Çizelge 3). Nanoliflere biyoaktif özellik kazandırmak için doğrudan yüzey baskılı (screen-printed, SP)

elektrot eklenmiştir ve sonucunda geliştirilen nanobiyosensör, zeytinyağının içindeki pirimifosmetili tespit etmek için test edilmiştir. Pirimifosmetil konsantrasyonunun, uluslararası düzenlemelere göre izin verilen maksimum kalıntı limiti 164 nM olmasına rağmen geliştirilen biyosensörün bu pestisit için tespit limiti 0.2 nM olduğu belirtilmektedir. Ayrıca çalışmada, biyosensörün işlevsel kararlılığıyla ilgili olarak yapılan ardışık ölçümler sonucunda mükemmel bir kararlılık ve tekrarlanabilirlik gösterdiği ve 4°C'de kapalı plastik kutularda 42 günlük depolamadan sonra sensörün aktivitesinin %10'dan az azaldığından bahsedilmektedir. Ek olarak da biyosensörün; basit bir sıvı-sıvı ekstraksiyon işlemiyle zeytinyağı örneklerinde kullanılabilirdiği ifade edilmektedir (El-Moghazy vd., 2016).

Glikoz algılayıcılar; diyabet kontrolüne ek olarak, biyoproses izlemeden gıda analizine kadar değişen önemli uygulamalar için büyük bir kullanım alanına sahiptirler. Bu kapsamda glikozu tanımlamak için enzim biyosensörleri arasında en çok araştırılan sınıf glikoz biyosensörleridir. Çünkü bu biyosensörler hem pratik hem de enzim aktivitesinden dolayı yüksek dayanıklılık da göstermektedirler (Wang, 2008). Elektroegirme yöntemini kullanan Scampicchio ve diğerleri (2010) naylon-6'dan üretilen naylon nanoliflerden (NyNF) glikoz biyosensörünü tasarlamışlardır (Çizelge 3). Bu sensörün glikozu algılama birimi, glikoz oksidaz enziminin kovalent olarak bağlandığı NyNF ile kaplanmış camsı bir karbon elektrotuna dayanmaktadır. Geliştirilen glikoz biyosensörünün performansı bu çalışmada ticari bir kolorimetrik glikoz kitiyle de karşılaştırılmıştır. Bunun için bal, sindirilmiş süt, kola ve enerji içecekleri gibi farklı gıdalar kullanılmış ve bu gıdaların her birine glikoz algılayıcılarıyla ayrı ayrı glikoz analizi yapılmıştır. Elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda elektroegirme yöntemiyle geliştirilen biyosensörün, kolorimetrik test kitine göre daha kesin bir hassasiyet göstermiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çoklu reaktif madde tüketimi gerektiren kolorimetrik analiz kitinin aksine, naylon nanolif glikoz sensörü sadece yardımcı madde eklenerek örneklerin hazırlanmasında zaman alıcı ön işlem

gerektirmemesinden dolayı basit olduğu söylenmektedir. Elektroegirme ile elde edilen nanoliflerin sahip olduğu yüksek yüzey alanı, enzimlerin çok sayıda aktif bölgeye adsorbe etmesine zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla tasarlanan glikoz biyosensörünün yüksek duyarlılık, uzun ömür ve bir ay yoğun kullanım da dahi mükemmel tekrarlanabilirlik gibi özellikler gösterdiği belirtilmektedir (Scampicchio vd., 2010). Mason ve diğerleri (2016) glikoz oksidaz (GOX) enziminin tutuklandığı işlevselleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT) ile elektroegirme Naylon-6 nanoliflerini (Çizelge 3) camsı bir karbon elektrotu üzerinde birleştirerek bir elektrokimyasal glikoz biyosensörü geliştirmişlerdir. Meyve suyu içeceklerinde glikoz içeriğinin analizi ve bira üretim sürecinde glikoz miktarının izlenmesi için bu biyosensörün potansiyel yararlılığı incelenmiştir. Sonuç olarak biyosensörün; bir aydan daha fazla tekrar kullanılabilir olduğu, glikoza karşı oldukça duyarlı olduğu ve bira gibi çok karmaşık sıvıların üretim sürecinin izlenmesi için de uygun olduğu belirtilmektedir (Mason vd., 2016).

Aptamere dayalı elektrokimyasal biyosensör

Yaygın olarak polikarbonat plastikler ile yapay reçinelerin üretiminde kullanılan bisphenol A (BPA), gıda ve içecek ambalajlarından gıdaya bulaşan, insan sağlığına zararlı bir endüstriyel kimyasaldır (Chouhan ve ark., 2014; Omak vd., 2016). Aptamer ise kısa ve işlevsel oligonükleotid gruplarından oluşur ve moleküler tanıma elementi olarak sensör üretiminde kullanılabilir. Kim ve diğerleri (2016) BPA'yı tespit etmek için, BPA-bağlayıcı aptamerler ile polimetil metakrilat (PMMA) ve PAN polimerlerinden oluşan (Çizelge 3) modifiye edilmiş çok kanallı karbon nanoliflere (MCNFs) dayalı bir alan-etkili transistör (FET) sensörünü elde etmişlerdir. Geliştirilen sensörde aptamerleri hareketsizleştirerek bağlayabilmek için tek uçlu elektroegirme yöntemi kullanılmış ve üretilen nanolifler ardında asitle oksitlendirilmiştir. Böylece sensör, çok kanallı bir yapıyla birlikte çok geniş spesifik yüzey alanına ve çok fazla işlevselleştirilmiş aptamere sahip olmaktadır. Bunun sonucunda da yüksek hassasiyet ve doğrulukla BPA tespiti yapabildiği, ayrıca dört

hafta boyunca tekrar kullanılabilirdiği belirtilmektedir (Kim vd., 2016).

Kolorimetrik nanosensörler

Bir maddeyi renk değişim yoluyla tespit etmeye yarayan hızlı, hassas ve çok yönlü nano yapıları sensörlerdir. Kolorimetrik sensörler ile toksik endüstriyel kimyasal maddelerden patojen bakteri ve mantarlara kadar çok farklı maddeler tespit edilebilmektedir (Askim ve Suslick, 2015). Bu amaçla gıda alanında, elektrodeleme ile üretilen kolorimetrik nanosensörler hakkındaki bilimsel çalışmalar aşağıda belirtilmektedir.

Gıda ürünlerinden salınan uçucu aroma bileşiklerini (VOC) tespit edebilen sensörler, gıda alanında kalite kontrol, tazelik değerlendirme, üretim sürecini izleme, gerçeklik analizi gibi uygulamalarda kullanımı mümkündür (Park vd., 2015). Yoon ve diğerleri (2007) VOC'ları tespit etmek için alternatif bir yöntem olarak elektrodeleme ile kolorimetrik sensör geliştirmişlerdir. Bu sensör tetraetil ortosilikat (TEOS), diasetilen (DA) monomeri ve polietilen oksit (PEO) karışımından oluşmaktadır (Çizelge 3). Üretilen kolorimetrik sensör, VOC'lara maruz bırakıldığında renk değişimine uğramakta ve böylece ortamdaki VOC varlığı algılanmış olmaktadır. Bu çalışmada sadece dört VOC çeşidi için ayırt edici renk dönüşümü elde edildiği belirtilmektedir. Fakat sensörde yapısal olarak farklı DA monomer kombinasyonu kullanıldığında tespit edilecek olan VOC çeşidi sayısı da arttırılabileceği vurgulanmaktadır (Yoon vd., 2007).

Gıdaları ambalajlarken modifiye ve kontrollü atmosferle paketlenme, vakum altında paketlenme gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerin temel prensibinde oksijen gazı ya tamamen uzaklaştırılır ya da sınırlı oranda ambalaj içerisinde tutulmaktadır. Bu kapsamda hem ambalajın bütünlüğünü hem de tepe boşluğundaki oksijen seviyesini kontrol eden kullanışlı bir oksijen sensörüne ihtiyaç vardır (Robertson, 2012, Yılmaz vd., 2016). Bu nedenle; Mihindukulasuriya (2012) elektrodeleme yöntemini kullanarak titanyum dioksit (TiO₂), gliserol ve metilen mavisinden (MB) oluşan karışımı nano parçacıklar halinde

poli (etilen oksit) (PEO) liflerinin (Çizelge 3) içerisine kapsülleyerek bir çeşit sensör olan oksijen göstergesini geliştirmiştir. Bu çalışmada göstergenin oksijene ve ultraviyole ışığına olan duyarlılıkları araştırılmış ve göstergenin oksijene olan duyarlılığının çeşitli bileşenlerin oranlarının değiştirilerek ayarlanabileceği belirtilmiştir. Bu ayarlanabilme özelliği farklı oksijen gazı oranlarında paketlenmiş gıdalar için oksijen göstergesinin kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Mihindukulasuriya, 2012).

Hidrojen peroksit (H₂O₂) çoğu ülkede ambalaj sterilizasyonunda, meyve ve sebzelerin yüzey sterilizasyonunda, bazı gıdalarda kükürt dioksitin uzaklaştırılmasında ve süt ürünleri olmak üzere çeşitli gıdalarda doğrudan katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak H₂O₂; askorbik asiti, antosiyaninleri, proteinleri olumsuz yönde etkileyerek gıdanın besleyici yönden kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Özkan ve Kırca, 2001). Bu kapsamda Senthamizhan ve diğerleri (2016) H₂O₂'nin hızlı ve görülebilir olarak tespiti için elektrodeleme yöntemiyle kolorimetrik bir nanosensör tasarlamışlardır. Bu nanosensörün yapısı polisülfon nanolif (Çizelge 3) katmanı üzerine altın nanokütlelerinin (AuNC) donatılmasıyla elde edilen esnek flüoresan nanolif membrandan (FNFM) oluşmaktadır. Bu çalışmada yapılan denemeler sonucunda H₂O₂'nin yoğunluğu arttırıldığında; sensörün renginin hızlı ve kademeli olarak kırmızıdan maviye değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu renk değişiminin hızlı olmasının nedeni olarak nanolifler sayesinde daha geniş yüzey alanına sahip AuNC'nin, analitler ile etkileşiminin artmasından kaynaklandığı belirtilmektedir (Senthamizhan vd., 2016).

Geltmeyer ve diğerleri (2016) tetraetilorto silikat (TEOS) ile (3-aminopropil) trietoksisilan (APTES) etkileşiminden (Çizelge 3) oluşan TEOS-APTES (TA) içine PH-indikatör boyalarından metil sarısını (MY) ve metil kırmızısını (MR) elektrodeleme yöntemiyle kombine etmişlerdir. Böylece iki tane katkılı (TA/MR ile TA/MY) kolorimetrik sensör ile bir tane de TA-MR kovalent bağlı kolorimetrik sensör tasarlamışlardır. Geliştirilen nanosensörlerin duyarlılıklarını tespit etmek için

çeşitli deneyler yapılmıştır. Öncelikle suda pH-sensörü olarak kullanılabilirliği denenmiş ve sonuç olarak MY, MR katkılı ve MR-APTES kovalent bağlı nanosensörlerin benzer bir algılama davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat güçlü sulu asidik ortamlarda pH-sensörü olarak sadece kovalent bağlı TA-MR'nin boyayı daha iyi tuttuğundan kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir. Daha sonra sensörlerin, hidrojen klorür (HCl) ve amonyak (NH₃) buharlarını algılama duyarlılıkları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda nanosensörlerin her biri için HCl ve NH₃ buharlarına karşı yüksek hassasiyet ve hızlı tepki verdiği bulunmuştur. Son olarak nanosensörlerin çok yönlülüğünü değerlendirmek için biyojen aminlere karşı duyarlılıkları araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre MR katkılı nanolif sensörlerin pembeden turuncuya veya sarıya bir dakikadan az bir süre içinde net bir renk değişikliği gösterirken, TA-MR turuncudan sarıya daha az görsel fakat yine de gözle görülür bir renk değişikliği verdiği tespit edilmiştir (Geltmeyer vd., 2016).

Devarayan ve Kim (2015) kırmızılahanadan elde ettikleri pigment ile elektroegirme selüloz (Çizelge 3) nanoliflerini adsorpsiyon ve kimyasal çapraz bağlama teknikleriyle işlevselleştirerek çevre dostu, evrensel bir kolorimetrik pH sensörü geliştirmişlerdir. Sensörün her bir pH değerine karşı farklı gözle görülebilir renk değişimi göstermesi, sensöre evrensel pH algılama özelliğini katmaktadır (Devarayan ve Kim, 2015).

Gravimetrik nanosensör

Aranan maddedeki çok küçük kütle değişimini algılayıp ve miktarını hesaplayabilen yüzey sensörüdür. Temeli klasik bir gıda analiz yöntemine dayalı olan bu gravimetrik sensör elektroegirme ile tasarlanırsa daha kullanışlı hale getirilebilir (Kökbaş, 2013, Gamlı, 2014). Khoshaman ile Bahreyni (2012) VOC'ları tespit etmek için elektro-püskürtme yöntemiyle nano gözenekli hassas metal organik sistemleri (MOFs) (Çizelge 3) kuvarz rezonatörlerin yüzeyinin üzerine yerleştirilerek bir gravimetrik sensör tasarlamıştır. Bu çalışmada üretilen sensörlerin tepkileri, VOC sensörlerinin geleneksel üretiminde kullanılan damlatarak kaplama (drop-

casting) yöntemi ile hazırlanan sensörlerin tepkileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak elektro-püskürtme ile elde edilen sensörün hızlı cevap verdiği, az miktardaki VOC'ları dahi tespit ettiği ve daha kaliteli olduğu belirtilmiştir (Khoshaman ve Bahreyni, 2012).

SONUÇLAR

Mevcut gıda kalite kontrol yöntemlerinden daha basit, hızlı, duyarlı ve ekonomik olmasıyla dikkat çeken nanosensörler, elektroegirme yöntemiyle başarılı bir şekilde geliştirilebilmektedir. Çünkü bu yöntem bilim insanlarına nano boyutta kolay bir şekilde çalışma fırsatı sunmaktadır. Böylece tespit edilmesi istenen maddeye göre işlevleştirilmiş nanosensörler rahatlıkla tasarlanabilmektedir. Sonuç olarak elektroegirme yöntemiyle tasarlanan yeni nesil fonksiyonel nanosensörler ile gıdaların kalite kontrol süreci iyileştirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince (BAP), 2017-2-TP2-2371 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, F. E., Lalia, B. S., Hashaïkeh, R. (2015). A review on electrospinning for membrane fabrication: challenges and applications, *Desalination* 356: 15-30, doi:10.1016/j.desal.2014.09.033.
- Arecchi, A., Scampicchio, M., Drusch, S., Mannino, S. (2010). Nanofibrous membrane based tyrosinase-biosensor for the detection of phenolic compounds, *Anal Chem Acta* 659(1-2):133-136, doi: 10.1016/j.aca.2009.11.039.
- Askim, J. R., Suslick, K. S. (2015). Hand-held reader for colorimetric sensor arrays. *Anal Chem* 7810-7816, doi:10.1021/acs.analchem.5b01499.
- Babakhanian, A., Momeneh, T., Aberoomand-azar, P., Kaki, S., Torki, M., Kiaie, S.H., Sadeghi, E., Dabirian, F. (2015). A fabricated electro-spun sensor based on Lake Red C pigments doped into PAN (polyacrylonitrile) nano-fibers for electrochemical detection of Aflatoxin B1 in poultry feed and serum samples. *Analyst* 140(22): 7761-7767, doi: 10.1039/c5an01602a.

- Bakırcı, G.T. (2014). Tahıl ve tahıl ürünlerinin aflatoksin, okratoksin A, zearalenon, fumonisin ve deoksinivalenol mikotoksinleri yönünden incelenmesi. *Akademik Gıda* 12(2): 46-56.
- Baltacı, C., Gündoğdu, A. (2012). *Enstrümental gıda analizleri*. Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 94s.
- Basu, P. K., Indukuri, D., Keshavan, S., Navratna, V., Vanjari, S. R. K., Raghavan, S., Bhat, N. (2014). Graphene based *E. coli* sensor on flexible acetate sheet. *Sens Actuators B* 190: 342– 347, doi:10.1016/j.snb.2013.08.080.
- Beypazar, Ö. (2013). Nanolif üretiminde çap kontrolü. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, Türkiye, 86 s.
- Bezir, N. Ç., Evcin, A., Oktay. (2014). Ag katkılı TiO₂ nanofiberlerin üretim ve karakterizasyonu. *AKÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 14(3): 315-318.
- Can, N., Velioglu, S. D. (2017). Tekirdağ'da satışa sunulan ihlamur (*Tilia spp.*) ve kuşburnu (*Rosa canina*) örneklerinde aflatoksin varlığının araştırılması. *GIDA* 42(3): 287-296, doi: 10.15237/gida.GD16087.
- Chen, Z., Zhang, A., Hu, J., Wang, X., Yang, Z. (2016). Electrospun nanofibers for cancer diagnosis and therapy. *Biomater Sci* 4(6): 922-932, doi: 10.1039/c6bm00070c.
- Chouhan, S., Yadav, S.K., Prakash, J., Swati., Singh, S.P. (2014). Effect of bisphenol A on human health and its degradation by microorganisms: A review. *Ann Microbiol* 64(1): 13-21, doi:10.1007/s13213-013-0649-2.
- Çötel, E., Karataş, F. (2014). Maydanozdaki (Petroselinum sativum) askorbik asit oksidasyonunun zamana bağlı olarak araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 26(2): 133-137.
- Dai, M. (2016). Functionalized electrospun nanofibers for food science applications. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, USA, 123p.
- Dalkıran, B., Erden, P. E., Kılıç, E. (2017). Construction of an electrochemical xanthine biosensor based on graphene/cobalt oxide nanoparticles/chitosan composite for fish freshness detection. *JOTCSA* 4(1): 23-44, doi: 10.18596/jotcsa.54485.
- Devarayan, K., Kim, B.S. (2015). Reversible and universal pH sensing cellulose nanofibers for health monitor. *Sens Actuators B* 209, 281–286, doi: 10.1016/j.snb.2014.11.120.
- Duncan, T.V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *J Colloid Interface Sci* 363(1): 1–24, doi:10.1016/j.jcis.2011.07.017.
- EFSA (European Food Safety Authority). (2015). Reasoned opinion on the review of the existing maximum residue levels (MRLs) for pirimiphos-methyl according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. *EFSA J* 13(1): 3974, 50s, doi: 10.2903/j.efsa.2015.3974.
- El-Moghazy, A. Y., Soliman, E. A., Ibrahim, H. Z., Marty, J. L., Istamboulie, G., Noguier, T. (2016). Biosensor based on electrospun blended chitosan-poly (vinyl alcohol) nanofibrous enzymatically sensitized membranes for pirimiphos-methyl detection in olive oil. *Talanta* 155: 258-264, doi: 10.1016/j.talanta.2016.04.018.
- Erdem, R., Sancak E. (2013). Elektroçekim yöntemiyle elde edilen poliamid-6/kitosan bazlı nanoliflerin morfolojik özelliklerinin incelenmesi. *İTÜ Fen Bilimleri Dergisi* 12(24): 53–65.
- Fuenmayor, C. A., Benedetti, S., Pellicano, A., Cosio, M.S., Mannino, S. (2014). Direct in situ determination of ascorbic acid in fruits by screen-printed carbon electrodes modified with nylon-6 nanofibers. *Electroanalysis* 26(4): 704-710, doi:10.1002/elan.201300595.
- Gamlı, F.Ö. (2014). *Laboratuvar Teknikleri ve Temel Gıda Analizleri*. Dora yayınları, İstanbul, 232s.
- Geltmeyer, J., Vancoillie, G., Steyaert, I., Breyne., B., Cousins, G., Lava, K., Hoogenboom, R., Buysse, K.D., Clerck, K.D. (2016). Colorimetric sensors: dye modification of nanofibrous silicon oxide membranes for colorimetric HCl and NH₃ sensing. *Adv Funct Mater* 26: 5987–5996, doi: 10.1002/adfm.201602351.

- Haider, A., Haider, S., Kang, I. K. (2015). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian J Chem* 1-24, doi: 10.1016/j.arabjc.2015.11.015.
- Kaplan, E. (2016). GAP Bölgesinde kullanılan pestisitlerin güvenilir gıda ve tarım etiğine etkisi. *Türkiye Biyotetik Dergisi* 3(4): 198-205, doi: 10.5505/tjob.2016.74436.
- Kataoka, R., Takagi, K. (2013). Biodegradability and biodegradation pathways of endosulfan and endosulfan sulphate. *Appl Microbiol Biotechnol* 97(8): 3285–3292, doi: 10.1007/s00253-013-4774-4.
- Khalf, A., Madihally, S. V. (2017). Recent advances in multi-axial electrospinning for drug delivery. *Eur J Pharm Biopharm* 112:1-17, doi: 10.1016/j.ejpb.2016.11.010.
- Khoshaman A.H., Bahreyni B. (2012). Application of metal organic framework crystals for sensing of volatile organic gases. *Sens Actuators B: Chem* 162(1):114-119, doi:10.1016/j.snb.2011.12.046.
- Kim, S. G., Lee, J. S., Jun, J., Shin, D. H., Jang, J. (2016). Ultrasensitive Bisphenol A field-effect transistor sensor using an aptamer-modified multichannel carbon nanofiber transducer. *ACS Appl Mater Interfaces* 8(10): 6602–6610, doi: 10.1021/acsami.5b11159.
- Kong, J., Franklin, N.R., Zhou, C., Chapline, M.G., Peng, S., Cho, K., Dai, H. (2000). Nanotube molecular wires as chemical sensors. *Science* 287(5453): 622-625, doi:10.1126/science.287.5453.622.
- Kökbaşı U., Kayrın L., Tuli A. (2013). Biyosensörler ve tıpta kullanım alanları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi* 22(4): 499-513.
- Li, C., Feng, C., Qu, F., Liu, J., Zhu, L., Lin, Y., Wang, Y., Li, F., Zhou, J., Ruan, S. (2015). Electrospun nanofibers of p-type NiO/n-type ZnO heterojunction with different NiO content and its influence on trimethylamine sensing properties. *Sens Actuators B* 207: 90-96, doi: 10.1016/j.snb.2014.10.035.
- Li, F., Gao, X., Wang, R., Zhang, T., Lu, G., Barsan, N. (2016). Design of core-shell heterostructure nanofibers with different work function and their sensing properties to trimethylamine. *ACS Appl Mater Interfaces* 8(30): 19799-19806, doi: 10.1021/acsami.6b04063.
- Li, Y., Sun, Q., Luo, Y., Li, Y., Gong, A., Zhang, H., Liu, D. (2017). High sensitive and selective *Escherichia coli* detection using immobilized optical fiber microprobe. 25th International Conference on Optical Fiber Sensors, 23 April, Jeju, Korea, 10323(103232): 1-4, doi: 10.1117/12.2263456.
- Li, Z., Wang, C. (2013). Effects of working parameters on electrospinning. In: *One dimensional Nanostructures: Electrospinning Technique and Unique Nanofibers*. Springer (ed.), Chapter 2, SpringerBriefs in Materials, Berlin, pp. 15-29.
- Marega C., Maculan J., Rizzi G. A., Saini R., Cavaliere E., Gavioli L., Cattelan M., Giallongo G., Marigo A., Granozzi G. (2015). Polyvinyl alcohol electrospun nanofibers containing Ag nanoparticles used as sensors for the detection of biogenic amines. *Nanotechnology* 26(7): 075501(9pp), doi:10.1088/0957-4484/26/7/075501.
- Mason, M., Longo, E., Scampicchio, M. (2016). Monitoring of glucose in beer brewing by a carbon nanotubes based nylon nanofibrous biosensor. *J Nanomater* 11p, doi:10.1155/2016/5217023.
- Mercante, L. A., Scagion, V. P., Pavinatto, A., Sanfelice, R. C., Mattoso, L. H. C., Correa, D. S. (2015). Electronic tongue based on nanostructured hybrid films of gold nanoparticles and phthalocyanines for milk analysis. *J Nanomater* 16 (1): 402, doi:10.1155/2015/890637.
- Mihindukulasuriya, S.D.F. (2012). Investigations of heat seal parameters and oxygen detection in flexible packages. PhD Thesis, Department of Food Science, University of Guelph, Canada, 212p.
- Mirjalili, M., Zohoori, S. (2016). Review for application of electrospinning and electrospun nanofibers technology in textile industry. *J Nanostruct Chem* 6(3): 207-213, doi: 10.1007/s40097-016-0189-y.

- Omak, G., Özcan, T., Yılmaz-Ersan, L. (2016). Biyolojik Detoksifikasyon ve Probiyotikler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 30(1): 157-168.
- Özdal, Ö. G., Özdal, M., Algur, Ö. F., Sezen, A. (2016). Böcek mikroflorasından α -endosülfanı parçalayabilen bakterilerin izolasyonu ve tanısı. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4(4): 248-254.
- Özkan, M., Kırca, A. (2001). Gıdalarda hidrojen peroksit uygulamaları. *GIDA* 26 (1): 17-24.
- Park, H., Lee, E., Chung, Y., Lee, S., Ahn, H., Kim D. J. (2015). VOC gas sensors fabricated with graphene oxide composites for food safety and quality. *ECS Trans* 69(38): 41-45, doi:10.1149/06938.0041ecst.
- Perez-Lopez, B., Merkoci, A. (2011). Nanomaterials based biosensors for food analysis applications. *Trends Food Sci Technol* 22(11): 625-639, doi:10.1016/j.tifs.2011.04.001.
- Phat, C., Moon, B., Lee, C. (2016). Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system. *Food Chem* 192: 1068-1077, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.07.113.
- Qureshi, M.A., Karthikeyan, S., Karthikeyan, P., Khan, P.A., Uprit, S., Mishra, U.K. (2012). Application of nanotechnology in food and dairy processing: An Overview. *Pak J Food Sci* 22(1): 23-31.
- Robertson, G.L. (2012), *Food Packaging: Principles and Practice*, Taylor & Francis Group, London, 687s.
- Robinson, J.W., Frame, E.M.S., Frame, G.M. (2005). *Undergraduate instrumental analysis*. Marcel Dekker, New York, 1204p.
- Scagion, V. P., Mercante, L. A., Sakamoto, K. Y., Oliveira, J. E., Fonseca, F. J., Mattoso, L. H. C., Ferreira, M. D., Correa, D. S. (2016). An electronic tongue based on conducting electrospun nanofibers for detecting tetracycline in milk samples. *RSC Adv* 6(105): 1-16, doi: 10.1039/C6RA21326J.
- Scampicchio, M., Arecchi, A., Bianco, A., Bulbarello, A., Bertarelli, C., Mannino, S., (2010). Nylon nanofibrous biosensors for glucose determination. *Electroanalysis* 22(10): 1056-1060, doi: 10.1002/elan.200900446.
- Senthamizhan, A., Balusamy, B., Aytac, Z., Uyar, T. (2016). Ultrasensitive electrospun fluorescent nanofibrous membrane for rapid visual colorimetric detection of H₂O₂. *Anal Bioanal Chem* 408(5): 1347-1355, doi: 10.1007/s00216-015-9149-5.
- Sernikli, C. (2015). Karadut (*Morus nigra*) suyunda toplam fenolik madde ve suda çözünen vitaminlerin ısı parçalanma kinetiği. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye, 97s.
- Shaibani, P. M., Jiang, K., Haghghat, G., Hassanpourfard, M., Etayash, H., Naicker, S., Thundat, T. (2016). The detection of *Escherichia coli* (*E. coli*) with the pH sensitive hydrogel nanofiber-light addressable potentiometric sensor (NF-LAPS). *Sens Actuators B Chem* 226: 176-183, doi: 10.1016/j.snb.2015.11.135.
- Şirin, Ş., Çetiner, S., Saraç, A. S. (2013). Elektro çekim yoluyla polimer nanolifler: nanolif kalitesini etkileyen faktörler. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16(2): 1-12.
- Tang, X., Liu, Y., Hou, H., You, T. (2011). A Nonenzymatic sensor for xanthine based on electrospun carbon nanofibers modified electrode. *Talanta* 83(5):1410-1414, doi: 10.1016/j.talanta.2010.11.019.
- Tarhan, Ö., Gökmen, V., Harsa, Ş. (2010). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. *GIDA* 35(3): 219-225.
- Vymazal, J., Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: a review. *Environ Int* 75: 11-20, doi:10.1016/j.envint.2014.10.026.
- Wadehra, A., Patil, P. S. (2016). Application of electronic tongues in food processing. *Anal Methods* 8(3), 474-480.

Wang J. (2008). Electrochemical glucose biosensor. *Chem Rev* 108(2): 814-825, doi:10.1021/cr068123a.

Wei, Q. (2012). *Functional nanofibers and their applications*. Woodhead Publishing Limited, UK, 448 p.

Xu G., Zhang S., Zhang Q., Gong L., Dai H., Lin Y. (2016). Magnetic functionalized electrospun nanofibers for magnetically controlled ultrasensitive label-free electrochemiluminescent immune detection of aflatoxin B1. *Sens Actuators B: Chem* 222: 707-713, doi: 10.1016/j.snb.2015.08.129.

Yerlikaya, P., Gkoğlu, N. (2002). Gıdalarda biyojen aminler ve nemi. *Gıda Mhendisliği Dergisi* 6(12): 24-30.

Yılmaz, M., Atay, E., Altan, A. (2016). Evaluation of methods for the detection of oxygen in packaged food products. 3rd International Congress of Biosensors, 5-7 October, Ankara, Trkiye, 144 p.

Yoon, J., Chae, S. K., Kim, J. M. (2007). Colorimetric sensors for volatile organic compounds (vocs) based on conjugated polymer-embedded electrospun fibers. *J Am Chem Soc* 129(11): 3038-3039, doi: 10.1021/ja067856+.