

# Fotonik sensörlerin su ürünleri gıda güvenliği uygulamalarındaki rolü ve önemi

## The role and importance of photonic sensors in seafood safety applications

Elifcan Duman<sup>1\*</sup> • Can Altınelataman<sup>2</sup> • Adnan Tokaç<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 35100 İzmir, Türkiye

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, 35100 İzmir, Türkiye

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, 35100 İzmir, Türkiye

 <https://orcid.org/0000-0002-3918-5722>

 <https://orcid.org/0000-0002-7105-2276>

 <https://orcid.org/0000-0002-2968-7315>

Corresponding author: [elifcanduman@gmail.com](mailto:elifcanduman@gmail.com)

Received date: 05.12.2019

Accepted date: 18.02.2020

### How to cite this paper:

Duman, E., Altınelataman, C. & Tokaç, A. (2020). The role and importance of photonic sensors in seafood safety applications. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(3), 319-324. DOI: [10.12714/egejfas.37.3.16](https://doi.org/10.12714/egejfas.37.3.16)

**Öz:** Mikrobiyolojik kalite, duyu kalite, besleyici özellikler, ürüne özgü özellikler, tazelik, türlere özgü fiziksel özellikler gibi birçok kavramı içeren balık kalitesinin tespiti için mikrobiyolojik, kimyasal ve duyu analizler gibi geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile oldukça zaman alan ve hata payına sahip bu geleneksel analiz yöntemlerinin yerini, daha hızlı ve güvenilir kalite ölçümleri yapmayı sağlayan ve gelişime açık sensör teknolojisi almaya başlamıştır. Bu çalışmada, özellikle optik sensörler ve kullanım alanları üzerinde durulmuş ve su ürünleri işleme teknolojisi gıda güvenliği açısından kullanılabilirlikleri hakkında genel bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Fotonik sensör, gıda kalitesi, gıda güvenliği, su ürünleri

**Abstract:** Microbiological, chemical, sensory analyses known as traditional methods are used for determination of fish quality including many concepts such as microbiological quality, sensory quality, nutritional properties, product specific properties, freshness, species-specific physical properties. With the developing technology; these time-consuming and error-free analyzes have been replaced by sensor technology, which is very suitable for quality measurements in order to achieve the expected speed and high standard and to be open to improvement. In this study, optical sensors and their applications are emphasized and a general evaluation is made about the usability of seafood processing technology in terms of food safety.

**Keywords:** Photonic sensor, food quality, food safety, seafood

## GİRİŞ

Günümüzde gıdalardaki ürün çeşitliliği ve sağlıklı ürünler tüketme bilincinin artmasına paralel olarak gerek üreticiler için ürünün kalitesini stabilize etmek ve gerekse tüketiciler için tükettiği gıdanın kalitesinden emin olmak giderek bir ihtiyaç haline gelmiştir. Ürünlerin hijyenik şartlarda üretilmiş olup olmamasından, depolama süresince gerçekleşen kalite değişimlerine kadar her bir aşamaya dikkat edilmelidir. Bu ürünler bozulmaya yatkın bir yapıya sahip su ürünleri olduğunda ise iş daha da zorlu hale gelmektedir. Su ürünlerinin son derece bozulabilir ve mikrobiyal çoğalmaya karşı hassas oluşu ve zararlı bakteriyel kirletici maddeler içerebilmeleri nedeniyle tüketimleri ile ilgili risklerin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir (Erkmen ve Bozoğlu, 2016; Hussain ve Uddin, 1995; Jayasinghe ve Rajakaruna, 2005).

Balık kalitesi sırasıyla, mikrobiyolojik kalite, duyu kalite, besleyici özellikler, ürüne özgü özellikler, tazelik, türlere özgü fiziksel özellikler ve teknolojik kalite gibi birçok kavramı içermektedir. Kalitenin tespiti için geleneksel yöntemler olarak

bilinen mikrobiyolojik, kimyasal, duyu analizlerle birlikte, hızlı ve bu yöntemlerle korelasyon gösteren sonuçlar veren görüntü analizi, elektronik burun, elektriksel ölçümler, spektrometrik ve reolojik yöntemler gibi fiziksel ve mekanik yöntemler de kullanılmaktadır (Cheng vd., 2015; Luten ve Martinsdottir, 1997; Serdaroğlu ve Purma, 2006).

Hem üreticiler hem de tüketiciler açısından oldukça önem arz eden su ürünlerinin tazeliğinin ölçümü için sürekli olarak sektörün isteklerine cevap verecek daha hızlı ve daha yüksek standartlara sahip kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır (Oğur, 2015). Sensör teknolojisi, bu açıdan beklenen hızı ve yüksek standardı sağlaması ve gelişime açık olmasıyla kalite ölçümleri için kullanılmaya oldukça elverişlidir. Farklı çalışma prensiplerine sahip birçok sensör mevcuttur ve bu sensörler kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin; akıllı ambalajlama teknolojisinde mikrobiyolojik bozulma, oksidatif acılaştırma ve sıcaklık nedeniyle oluşan diğer değişimlerin derecesini ölçmek

amacıyla (Kerry ve Papkovsky, 2002) veya gıdalara karışan bazı kimyasal maddelerin miktarını belirlemek amacıyla (Traffano-Schiffo vd., 2018) çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca sensörün farklı teknolojilerle kombine halde kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur (Khansili vd., 2018; Semeano vd., 2018).

Bu derlemede, optik sensörler ve kullanım alanları üzerinde durulmuş, su ürünleri işleme teknolojisi gıda güvenliği açısından kullanılabilirlikleri hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Aynı zamanda bu derleme; Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi olarak proje ortaklarından biri olduğumuz 117F236 proje numaralı "Derin Deniz- Fotonik Sensör Bileşenleri Kullanımı ile Kıyusal Alanların Çevresel İzlenmesi ve Denizel Kaynakların Değerlendirilmesi" adlı uluslararası TÜBİTAK projesinin 'Gıda Güvenliği' iş paketi içinde yapılması düşünülen çalışmaların bir ön tanıtımını içermektedir. Bu projenin, kalite ve tüketici sağlığı için pratik deneyimlere dayanan fotonik sensörlerin daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, gıda güvenliği açısından işletme maliyetlerine önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Fotonik, okyanus mühendisliği, balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, çevresel izleme ve gıda güvenliği disiplinleri işbirliği ile kurulacak olan bu sistemin, fotonik sensörlerden elde edilen tüm bulgulardan faydalanacağı düşünülmektedir.

### Optik sensörler

Sensörler temel olarak reseptör ve transdüser olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Reseptörler kaynaktan aldıkları fiziksel ve kimyasal bilgileri transdüser ölçümüne uygun olan enerjiye çevirirler. Sensörler; elektriksel, optik, termal veya kimyasal olarak sinyalleri algılar (Kress-Rogers, 2001). Sensörlerin ölçümlerini gerçekleştirebilmeleri için kaynak ile sürekli bir iletişim ortamında olmaları gerekmektedir.

Optik sensörler, çeşitli analitlerin kantitatif tayini için yüksek performanslı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Borisov ve Wolfbeis, 2008). Optik sensörler gerek su ürünlerinde gerekse çeşitli gıdalarda bu ve benzeri amaçlar için kullanılmaktadır. Optokimyasal sensörler ise gıdaların mikrobiyal kontaminasyonu veya diğer etkilerden dolayı oluşan bozulma sonucu açığa çıkan hidrojen sülfid, karbondioksit veya aminler gibi bileşikler algılayarak kalite kontrol işlemlerinde kullanılmaktadırlar (Gnaiger ve Fortsner, 1983; Gök vd., 2006).

Ürün çeşitliliğinin artması ile tüketiciler tercih yaparken daha seçici davranmaya başlamışlardır. Satın alacakları ürünlerin sağlıklı olmasına ve hijyenik şartlarda üretilmiş olup olmamasına dikkat etmektedirler. Ürünlerin ambalajları da gıdaların tüketiciler tarafından tercih edilmesinde önemli bir unsurdur. Ambalajlama sektöründe; akıllı ambalajlama

sistemleri mikrobiyolojik bozulmaların ve toksik maddelerin hızlı ve etkin bir şekilde tespit edilmesi ve bu ürünlerin tüketiminin önlenmesini sağlayabilmelerinden dolayı büyük önem kazanmıştır (Öksüztepe ve Beyazgül, 2015). Klasik gaz sensörlerinden biri olan elektrokimyasal oksijen sensörlerindeki bazı kısıtlı özelliklerden dolayı, ambalaj teknolojisinde optik oksijen sensörler kullanılmaya başlanmıştır (Trettnak vd., 1995). Bu optik oksijen sensörleri genellikle katı fazdaki materyallerden oluşmakla beraber, ışığı absorbe etme veya yansıtma özelliklerinden hareketle üretilmişlerdir (Kress-Rogers, 2001).

Akıllı paketlenmede CO<sub>2</sub> gazı, fermantasyon veya mikroorganizmadan kaynaklanan bozulmaların bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir ve ölçümüne ihtiyaç duyulmaktadır. CO<sub>2</sub> miktarını algılamak için birçok sistem geliştirilmiştir, bunlardan bazıları dağıtılmayan kızıl ötesi (NDIF) sensörü, ıslak optik CO<sub>2</sub> sensörü (pH tabanlı), floresan CO<sub>2</sub> sensörü, kuru optik CO<sub>2</sub> sensörü, ince askılı pelte (sol-jel) tabanlı optik CO<sub>2</sub> göstergesi, fotonik kristal sensörüdür. Özellikle optik CO<sub>2</sub> sensör teknolojileri diğerlerinden bir adım önde bulunmaktadır. Bunun nedeni ise kimyasal ve mekanik kararlılığının daha yüksek olmasıdır. CO<sub>2</sub> sensörünün kullanım alanı genelde et ve et ürünleridir (Meng vd., 2014).

Bir diğer sensör çeşidi olan fotonik kristal fiberler ise; klasik silika optik fiberlerden, bir dizi tasarım özelliği ve ışık yayılım ilkesiyle farklı olan optik dalga kılavuzlarıdır. Bir fotonik kristal fiberin kesiti, bir 2D fotonik kristalin yapısını üretir. Fotonik kristal fiber teknolojisi gıdalarda kalite ölçümü için kullanılabilir.

Fotonik kristaller, yüksek optik özellikler ve parlak yapısal renk sergileyen, uzamsal olarak düzenlenmiş kafeslere sahip işlevsel bir malzeme sınıfıdır. Bu malzemeler ışığı belirli bir dalga boyu veya frekansla değiştirebilirler. Ayrıca çeşitli periyodik yapılar ile birlikte farklı malzemeler kullanılarak imal edilebilir (Chow vd., 2001; Mihi vd., 2008; Painter vd., 1999).

Ayrıca, radyofrekans (RF) ve mikrodalga (MW) aralıklarındaki fotonığe dayalı sensörler, etin bozulma reaksiyonlarına dahil olan bazı kimyasal türlerin miktarını belirleme kapasitesine sahip olup, izleme sisteminde büyük bir gelişme sağlayabilmektedir (Traffano-Schiffo vd., 2018).

### Gıda güvenliği konusunda sensörler ile yapılan çalışmalar

Çeşitli teknolojilere dayanarak geliştirilen fotonik sensörlerin başlıca kullanım amaçları sırasıyla, gıdalarda bazı zararlı katkı maddelerinin ve gıdanın yapısında sonradan gelişen toksik bileşiklerin tespiti, kalite ölçümü, kompozisyon belirleme ve mikrobiyal bozulma tespitidir. Çeşitli yöntemlerle gıda katkı maddelerinin ve gıdanın yapısında mevcut toksik bileşenlerin ölçümü üzerine bazı çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Gıda içeriğindeki zararlı bileşenlerin tespit edilmesi amaçlanan bazı çalışmalar  
**Table 1.** Some studies that aimed to detect harmful components in food content

Gıda	Amaç	Yöntem	
Levrek ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	Sulfguanidin tespiti (Antibiyotik)	Polimer Fotonik Kristal	(Li vd., 2019)
Süt ve bal	Tetrasiklin, oksitetrasiklin ve klortetrasiklin tespiti (Antibiyotik)	Polimer Fotonik Kristal	(Wang vd., 2012)
Çeşitli gıdalar (puding, krema, hazır çorba, sos vb.)	Ksantat ve alginat tespiti (Polianyonik katkı maddeleri)	Polimerik Optik Sensör	(Dürüst vd., 2010)
-	Sakarin, sorbitol ve bütül asetat tespiti (Katkı maddeleri)	Fotonik Kristal Fiber	(Atiullah vd., 2019)
Somon ( <i>Salmo salar</i> ), Ton balığı ( <i>Thunnus alalunga</i> )	Histamin (Biyogen amin)	Diatomit Fotonik Kristal	(Kong vd., 2018)

Su ürünlerinde bakteri enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılan kemoterapötiklerin büyük bir bölümünü oluşturan sülfonamidler; enjeksiyon, banyo ve oral olmak üzere üç yöntemle uygulanabilmektedir. Yüksek dozdaki uygulamalar balıkta toksikasyona neden olurken, vücudunda sülfonamid birikimi oluşmuş balıkların pazara sunulması, insanlarda sülfonamidlere dirençli suşlar oluşturabilmektedir (Arda vd., 2005; Samanidou ve Evaggelopoulou, 2007; Tanrikul, 1995). Bundan dolayı sülfonamidlerin balıklardaki kullanımına dikkat edilmelidir. Moleküler olarak basılmış polimer fotonik kristal ile balıklarda sulfguanidinin hızlı tespitine çalışılmıştır. Sensörün beş kullanım döngüsünden sonra orijinal algılama performansını koruduğu ve sulfguanidinin geri dönüşümünün, göl suyunda %93,8 ila %111,2 ve balık örneklerinde %88,5 ila %115,2 arasında değiştiği saptanmıştır. Bu bulgu, sensörün karmaşık matrisli gıda örneklerinde kullanılabileceğini göstermiştir (Li vd., 2019).

Su ürünleri de dahil olmak üzere gıdaların yapısında gelişebilen bir diğer zararlı bileşik ise biyogen aminlerdir. Biyogen aminler, amino asitlerin dekarboksilasyonu sonucunda ya da aldehit ve ketonların aminasyon ve transaminasyonu ile oluşur (Majjala vd., 1993; Akyol vd., 2015). Gıdalarda oluşan en önemli biyogen aminlerden olan histamin; toksik etkilerinden dolayı oldukça önemlidir. Ayrıca gıdaların tazelik ya da bozulma derecesinin bir indikatörü olduğu için de tespiti önem taşımaktadır (Halasz vd., 1994; Akyol vd., 2015). Fosilleşmiş

diatom frustül kalıntılarından türetilen ve fotonik-kristal özelliklere sahip Diatomit'in kullanıldığı bir çalışmada; Somon (*Salmo salar*) ve Ton balığı (*Thunnus alalunga*) 'nda histamin tespiti amaçlanmıştır. Diatomit fotonik kristallerin kullanıldığı bu çalışmada; somon ve ton balıklarında histamin başarıyla izlenmiştir. Sonuç olarak bu çipli gıda sensörü, gıda ürünlerindeki iz seviyelerinde histamin veya diğer zararlı bileşenleri izlemek için ucuz, sağlam ve taşınabilir bir algılama platformu olarak kullanılabilir bulunmuştur (Kong vd., 2018).

Fotonik kristal fiber teknolojisi gıdalarda kalite ölçümü için kullanılabilir. Malinin vd. (2012) tarafından meyve suyunun kalitesine, kompozisyonuna ve ana bileşen konsantrasyonuna duyarlı bir fotonik kristal fiberin kullanımının denendiği çalışma bunlardan biridir. Önce glikoz, fruktoz ve sakkaroz karışımı içeren iki doğal meyve suyu numunesi (elma suyu ve portakal suyu), daha sonra ise tatlandırıcı karışımını içeren meyve aromalı içecekler; fotonik kristal fiberlerin iletim spektrumlarının ölçümü ve arasındaki farkın gözlenmesi prensibine dayanarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak fotonik kristal fiberlerin hassas elemanlar olarak kullanımının analiz edilen ürünlerdeki şeker miktarını hızlı bir şekilde belirleyebildiği ve sıvının farklı dalga boyu aralıklarındaki optik yoğunluğunu belirlemenin, sıvının türbiditesini kırılma belirleme endeksi ile aynı anda değerlendirmenin mümkün olduğu saptanmıştır. Glikoz ve fruktoz tespitine yönelik fotonik sensör çalışmaları Tablo 2'de görülmektedir.

**Tablo 2.** Glikoz ve fruktoz tespitini amaçlayan çalışmalar  
**Table 2.** Studies that aimed detecting glucose and fructose

Amaç	Yöntem	Prensip	Sonuç
Çıplak gözle glikoz tespiti	Opal fotonik kristal	Dalga boyunun renk değişimi	3-20 mM glikoz kons. tespiti mümkün (Hong vd., 2014)
Glikoz kons. izlenmesi	Fotonik kristal refraktometre	İki boyutlu fotonik kristal platformunun analitle doldurulması	Glikoz izlemesi için yüksek kaliteli ve umut verici (Areed vd., 2017)
Fruktozu seçici belirlenmesi	Fotonik kristal sensör	Filmlerde renk değişimi	Diğer şekerlerin varlığında fruktoz tanınmıştır. (Ayyub vd., 2013)

Fotonik kristal fiber kullanarak ölçülmesi amaçlanmış bir diğer içerik; potasyum klorür konsantrasyonudur. Potasyum klorür deniz suyunda bulunan doğal bir bileşiktir. İnsan sağlığı açısından da oldukça gereklidir (Lide, 2005). Çalışmada; 400 nm çapında dairesel hava deliklerine sahip fotonik kristal fiber kullanılmıştır ve ölçümün prensibi olarak; fotonik kristal fiberden çıkan iletilen alanın potasyum klorür konsantrasyonuna göre doğrusal değişimi temel alınmıştır. Fotonik kristal yapısındaki alan dağılımı, düzlem dalga yayılımı yöntemi kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuçlara göre; iletilen ışığın yoğunluğunun, hava deliklerine doldurulmuş potasyum klorür konsantrasyonuna göre doğrusal olarak değiştiği saptanmıştır (Palai vd., 2013).

Taze gıdaların ve özellikle de balığın raf ömrünün oldukça kısa olduğu göz önüne alındığında, üretim ve tedarik zincirlerinin herhangi bir noktasında, tazeliğin gerçek zamanlı izlenmesi için hızlı, kullanımı kolay, yıkıcı olmayan araçlar geliştirmek önemlidir. Akıllı ambalaj teknolojisi de bunlardan bir tanesidir. Ambalaja akıllı özelliğini veren unsurlardan olan sensörler ürünlerin tazelikleri, mikrobiyolojik olarak bozulma olup olmaması, oksidatif acılaşıma ve sıcaklık nedeniyle oluşan değişimler hakkında bilgi vermektedirler (Kerry ve Papkovsky, 2002). Akıllı gıda ambalajı kapsamında, son on yılda başlatılan araştırma ve geliştirme projelerine bakıldığında (Tablo 1), çeşitli prensiplere dayanan sensörlerin benzer amaçlarla kullanıldığı projelerin gerçekleştirildiği görülmektedir (Vanderroost vd., 2014).

**Tablo 3.** Akıllı gıda ambalajı teknolojisi kapsamında, sensörlerin kullanıldığı çeşitli projeler (Vanderroost vd., 2014)

**Table 3.** Various projects using sensors within the scope of smart food packaging technology (Vanderroost vd., 2014)

Proje Adı	Yürütücü Kurum	Amaç	Prensip
FOODSNIFFER	Yunanistan Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi	Ürünlerdeki zararlı maddeleri (mikotoksinler, alerjenler ve böcek ilaçları) tanımlamak.	Silikon fotonığın mikroakışkanlar ve filtrasyon sistemleri ile entegrasyonu ile üretilen spektroskopik çip.
PhotoSens	Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi	Çevresel ve farmasötik uygulamalar	fotonik kristal teknolojisi ve Yüzey Geliştirilmiş Raman Saçılma (SERS) metodolojileri.
BioFos	Yunanistan Atina Ulusal Teknik Üniversitesi	Gıda kirliliğinin tespiti	Fotonik, biyoloji ve nanokimyanın birleşimi ile geliştirilmiş biyosensör.
ChechPack	Belçika Gent Üniversitesi	Gıda bozulmalarının tespiti	Silikon fotonik bazlı kimyasal sensör.

Taze balığın raf ömrünün çok kısa oluşu, tazeliğin izlenmesini sağlamak amacıyla çeşitli uygulamalar geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Semeano vd.'nin (2018) balık numunelerinin üst boşluğunun gaz algılama yoluyla analizinin denendiği çalışma, balık tazeliğini izlemek için ilginç bir yaklaşımdır. Optik gaz sensör kullanılarak tilapiada mikrobiyal bozulmanın tespit edilmesinin amaçlandığı çalışmada, optik bir elektronik buruna bağlı ve tek bir gaza duyarlı jel malzemenin uygulanmasına bağlı bir gaz algılama yöntemi kullanılmıştır. Sensörün optik sinyalleri ve bakteri üreme derecesi zamanla takip edilmiştir. Sonuçlar, iki değer arasında anlamlı bir ilişki olduğunu bu basit ve düşük maliyetli sistemin tilapiada tazeliğin izlenmesi için potansiyel uygulamasını göstermiştir (Semeano vd., 2018).

## SONUÇ

Her geçen gün ivme kazanmaya devam eden nüfus artışı; gelecekteki 50 yıl için gıda ihtiyacının, geçtiğimiz 10,000 yıldakinden daha fazla olduğunun öngörülebilmesine neden olacak boyuttadır (Tosun, 2019). Tüketim ihtiyacındaki bu artış, her alanda olduğu gibi su ürünleri alanında da bilimsel çalışmaların sürdürülebilir yöntemler geliştirmek üzerine yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra; su

ürünleri tüketiminin insan sağlığı için ne denli önemli olduğu bilinmektedir. Bozulmaya oldukça yatkın bir yapıya sahip su ürünleri proseslerinde; ham madde temininden depolamaya kadar tüm aşamalarda kalite parametrelerini kontrol altında tutmak, üreticiler için bir ihtiyaçken tüketiciler içinse bir gerekliliktir.

Su ürünlerinde kalite kontrolü için kullanılan analiz yöntemleri çoğunlukla geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler görüntü analizi, elektronik burun, elektriksel ölçümler, spektrometrik ve reolojik yöntemler gibi fiziksel ve mekanik yöntemler ile kombinasyon halinde de kullanılabilir. Fakat su ürünleri sektöründe tazeliğinin ölçümü için sürekliliği olan, hızlı ve daha yüksek standartlara sahip kalite kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaç için en kullanışlı enstrümanlar olarak ilk aklı gelen sensor teknolojileridir. Farklı çalışma prensiplerine ve malzemelere sahip birçok sensor bulunmaktadır. Proje ortağı olduğumuz araştırmanın da benzer hedefler taşıması ve fotonik sensörler üzerine bir proje olması sebebiyle; bu derlemede daha çok bu prensibe dayanan sensörlerin kullanıldığı çalışmalar üzerinde durulmuştur.

Bu derlemede yapılan incelemelerden fotonik sensor teknolojisinin gelişime ve farklı teknolojilerle bir arada kullanılmaya son derece açık olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda su ürünleri için önem taşıyan pek çok içeriğin şaplanması başarıya ulaşan çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin; bir çalışmada biyojen amin tespiti üzerinde durulurken, bir başka çalışmada akıllı ambalaj teknolojisi ile entegre edilerek kullanılabilir. Fotonik sensor kullanımı ile gıda güvenliği konusunda önümüzdeki yıllarda giderek artan bir ivme ile çalışmaların yapılacağı öngörülmektedir. Ancak bu çalışmalarda kullanılacak sensörlerin geliştirilmesi için çeşitli

disiplinlerden farklı araştırmacıların bir arada çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu derleme; 117F236 proje numaralı, Derin Deniz - Fotonik Sensör Bileşenleri Kullanımı İle Kıyısız Alanların Çevresel İzlenmesi ve Denizel Kaynakların Değerlendirilmesi adlı uluslararası TÜBİTAK projesinin 'Gıda Güvenliği' iş paketi içinde yapılması düşünülen çalışmaların bir ön tanıtımını içermektedir.

## KAYNAKÇA

- Akyol, V., Kundakçı, A. & Ergönül, B. (2015). Gıdalarda Biyojen Aminler. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 294-305. DOI: [10.18466/cbujs.89924](https://doi.org/10.18466/cbujs.89924)
- Arda, M., Seçer, S. & Sarıyüpeoğlu, M. (2005). Balık Hastalıkları. Ankara. Medisan Yayın Serisi: 61.
- Areed, N.F.F., Hameed, M.F.O. & Obayya, S.S.A. (2017). Highly sensitive face-shaped label-free photonic crystal refractometer for glucose concentration monitoring. *Optical and Quantum Electronics*, 49(5). DOI: [10.1007/s11082-016-0847-9](https://doi.org/10.1007/s11082-016-0847-9)
- Atiqullah, S.M., Palit, A., Reja, M.I., Akhtar, J., Fatema, S. & Absar, R. (2019). Detection of harmful food additives using highly sensitive photonic crystal fiber. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 23. DOI: [10.1016/j.sbsr.2019.100275](https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2019.100275)
- Ayyub, O.B., Ibrahim, M.B., Briber, R.M. & Kofinas, P. (2013). Self-assembled block copolymer photonic crystal for selective fructose detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 46, 124–129. DOI: [10.1016/j.bios.2013.02.025](https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.02.025)
- Borisor, S.M. & Wolfbeis, O.S. (2008). Optical Biosensors. *Chemical Reviews*, 108, 423–461. DOI: [10.1021/cr068105t](https://doi.org/10.1021/cr068105t)
- Cheng, J.H., Sun, D.W., Zeng, X.A. & Liu, D. (2015). Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination and evaluation of fish and fish fillets: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 1012-1225. DOI: [10.1080/10408398.2013.769934](https://doi.org/10.1080/10408398.2013.769934)
- Chow, E., Lin, S.Y., Wendt, J.R., Johnson, S.G. & Joannopoulos, J.D. (2001). Quantitative analysis of bending efficiency in photonic-crystal waveguide bends at  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  wavelengths. *Optics Letters*, 26, 286 – 288. DOI: [10.1364/OL.26.000286](https://doi.org/10.1364/OL.26.000286)
- Dürüst, N., Naç, S. & Ünal, N. (2010). Poliyon-Duyarlı Polimer Bazlı Optik Sensörler Kullanılarak Bazı Gıda Ürünlerindeki Kıvam Arttırıcı Katkı Maddelerinin Kantitatif Tayinleri. 24. Ulusal Kimya Kongresi 2010. Zonguldak, Türkiye: Bildiri Kitabı.
- Erkmen, O. & Bozoglu, T. (2016). Spoilage of fish and other seafoods. *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp 301-306). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: [10.1002/9781119237860](https://doi.org/10.1002/9781119237860)
- Gnaiger, E. & Fortsner, H. (1983). Polarographic oxygen sensors. Aquatic and physiological applications. *Springer-Verlag*, Berlin. DOI: [10.1007/978-3-642-81863-9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-81863-9)
- Gök, V., Batu, A. & Telli, R. (2006). Akıllı paketleme teknolojisi. Türkiye 9.Gıda Kongresi 2006. (pp. 45-48) Bolu, Türkiye: Bildiri Kitabı.
- Halasz, A., Barath, A., Sarkadi, L.S. & Holzapfel, W. (1994). Biogenic amines and their production by mikroorganism in food. *Trend. Food Science and Technology*, 5, 42-49. DOI: [10.1016/0924-2244\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90070-1)
- Hong, X., Peng, Y., Bai, J., Ning, B., Liu, Y., Zhou, Z. & Gao, Z. (2014). A Novel Opal Closest-Packing Photonic Crystal for Naked-Eye Glucose Detection. *Photonic Crystals*, 10(7), 1308-1313. DOI: [10.1002/sml.201302788](https://doi.org/10.1002/sml.201302788)
- Hussain, M.M. & Uddin, M.H. (1995). Quality control and marketing of fish and fish products: needs for infrastructure and legal support. National workshop on fisheries resources development and management in Bangladesh-Bay of Bengal Programme, FAO, p. 9.
- Jayasinghe, P.S. & Rajakaruna, R.M.A.G.G. (2005). Bacterial contamination of fish sold in fish markets in the central province of Sri Lanka. *Journal of the Natnional Science Foundation of Sri Lanka*, 33, 219-221. DOI: [10.4038/jnsfr.v33i3.2328](https://doi.org/10.4038/jnsfr.v33i3.2328)
- Kerry, J.P. & Papkovsky, D.B. (2002). Development and use of nondestructive, continuous assessment, chemical oxygen sensors in packs containing oxygen sensitive foodstuffs. *Research Advances in Food Science*, 3, 121-140.
- Khansili, N., Rattu, G. & Krishna, P.M. (2018). Label-free optical biosensors for food and biological sensor applications. *Sensors and Actuators*, 265, 35–49. DOI: [10.1016/j.snb.2018.03.004](https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.004)
- Kong, X., Yu, Q., Li, E., Wang, R., Liu, Q. & Wang, A.X. (2018). Diatomite Photonic Crystals for Facile On-Chip Chromatography and Sensing of Harmful Ingredients from Food. *Materials*, 11, 539. DOI: [10.3390/ma11040539](https://doi.org/10.3390/ma11040539)
- Kress-Rogers, E. (2001). Instrumentation for food quality assurance. In E. Kress- Rodgers, and C.J.B., Brimelow, Instrumentation and Sensors for the Food Industry, 2nd ed., (pp. 581-669). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd. DOI: [10.1201/9781439833049](https://doi.org/10.1201/9781439833049)
- Li, L., Lin, Z., Huang, Z. & Peng, A. (2019). Rapid detection of sulfaganidine in fish by using a photonic crystal molecularly imprinted polymer. *Food Chemistry*, 281, 57–62. DOI: [10.1016/j.foodchem.2018.12.073](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.073)
- Lide, D.R. (2005). CRC Handbook of Chemistry and Physics, 86<sup>th</sup> Edition, CRC Press, Boca Raton.
- Luten, J. & Martinsdottir, E. (1997). QIM: a European tool for fish freshness evaluation in the fishery chain. International Institute of Refrigeration, (pp. 287-296). Paris, France.
- Majjala, R.L., Eerola, S.H., Aho, M.A. & Hirn, J.A. (1993). The effect of GDL-induced pH decrease on the formation of biogenic amines in meat. *Journal of Food Protect*, 56, 125-129. DOI: [10.4315/0362-028X-56.2.125](https://doi.org/10.4315/0362-028X-56.2.125)
- Malinin, A.V., Zanishevskaja, A.A., Tuchin, V.V., Tuchin, Y.S. & Silokhin, I.Y. (2012). Photonic crystal fibers for food quality analysis. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 27, 84-87. DOI: [10.1117/12.924096](https://doi.org/10.1117/12.924096)
- Meng, X., Kim, S., Puligundla, P. & Ko, S. (2014). Carbon Dioxide and Oxygen Gas Sensors Possible Application for Monitoring Quality, Freshness, and Safety of Agricultural and Food Products with Emphasis on Importance of Analytical Signals and Their Transformation. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57, 723-733. DOI: [10.1007/s13765-014-4180-3](https://doi.org/10.1007/s13765-014-4180-3)
- Mihi, A., Calvo, M.E., Anta, J.A. & Miguez, H. (2008). Spectral Response of Opal-Based Dye-Sensitized Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112, 13-17. DOI: [10.1021/jp7105633](https://doi.org/10.1021/jp7105633)

- Oğur, S. (2015). Su Ürünleri Kalitesinin Değerlendirilmesinde Koku Algılama Sensörlerinin Geliştirilmesi Ve Uygulamaları. *Journal of Food and Health Science*, 1, 1-11.
- Öksüztepe, G. & Beyazgül, P. (2015). Akıllı Ambalajlama Sistemleri ve Gıda Güvenliği. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29, 67-74.
- Painter, O., Lee, R.K., Scherer, A., Yariv, A., O' Brien, J.D., Dapkus, P.D. & Kim, I.I. (1999). Two-dimensional photonic band-Gap defect mode laser. *Science*, 284, 1819-1821.
- Palai, G., Mudului, N., Sahoo, S.K., Tripathy, S.K. & Patanaik, S.K. (2013). Realization of Potassium Chloride Sensor Using Photonic Crystal Fiber. *Soft Nanoscience Letters*, 3, 16-19.
- Samanidou, V. & Evagelopoulou, E. (2007). Analytical strategies to determine antibiotic residues in fish. *Journal of Separation Science*, 30, 2549-69. DOI: [10.1002/jssc.200700252](https://doi.org/10.1002/jssc.200700252)
- Semeano, A., Maffei, D., Palma, S, Li, R., Franco, B., Roque, A. & Gruber, J. (2018). Tilapia fish microbial spoilage monitored by a single optical gas sensor. *Food Control*, 89, 72-76.
- Serdaroğlu, M. & Purma, Ç. (2006). Su Ürünlerinde Kalitenin Saptanmasında Kullanılan Hızlı Teknikler. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23, 495-496.
- Tanrikul, T. (1995). Bakteriyel Balık Aşılı ve Aşılama Yöntemleri. *Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Dergisi*, 19, 1-8.
- Tosun, B.N. (2019). Sağlık ve Esenliğin Geliştirilmesinde Sürdürülebilir Beslenme. 1. Uluslararası Sürdürülebilir Yaşam Kongresi 2019. (pp. 25-26). Ankara, Türkiye: Bildiri Kitabı.
- Traffano-Schiffo, M.V., Castro-Giraldez, M., Colom, R.J. & Fito, R.J. (2018). Innovative photonic system in radiofrequency and microwave range to determine chicken meat quality. *Journal of Food Engineering*, 239, 1-7. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2018.06.029](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.029)
- Trettnak, W., Gruber, W., Reiniger, F. & Klimant, I. (1995). Recent progress in optical sensor instrumentation. *Sensors and Actuators B*, 29, 219-225.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F. & Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39, 47-62. DOI: [10.1016/j.tifs.2014.06.009](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009)
- Wang, L.Q., Lin, F.Y. & Yu, L.P. (2012). A molecularly imprinted photonic polymer sensor with high selectivity for tetracyclines analysis in food. *Analyst*, 137, 3502-3509. DOI: [10.1039/c2an35460h](https://doi.org/10.1039/c2an35460h)