

Gıda Güvenliğinin Önemi ve Bakterilerin Tespiti İçin Yöntemler

Importance of Food Safety and Methods for the Detection of Bacteria

Rüveyda KORKMAZ¹, Gökçe MEREY²

¹ Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Temel Sağlık Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar: Gökçe MEREY

E-mail: gokce.merey@marmara.edu.tr

Gönderme Tarihi: 12.04.2023

Kabul Tarihi: 08.05.2023

ÖZ

Gıda güvenliği, tüketicilerin sağlığını ve refahını korumak için son derece önemli bir konu olup gıda üretiminden tüketimine kadar tüm süreçlerde sağlanmalıdır. Gıda güvenliği olmadan, insanlar sağlıklı gıda tüketimi konusunda güvende olamazlar. Kontamine edilmiş gıdalar, tüketen kişilerin enfeksiyonlara, zehirlenmelere ve hastalıklara yakalanmasına neden olabilir. Bu durumlar, özellikle çocuklar, yaşlılar, hamileler ve bağışıklık sistemi zayıf olanlar için hayatı tehdit edici olabilir. Bu nedenlerle gıda güvenliğini tüm süreçlerde ve her aşamada sağlamak gıda endüstrisinin, tüketicilerin ve toplumların ortak sorumluluğudur.

Gıda güvenliğinin sağlanması için hijyenik üretim ortamı sağlanmalı, gıdaların kaynakları takip edilmeli ve nereden geldiği bilinmeli, doğru saklama koşulları belirlenmeli, personel eğitimi sağlanmalı ve üretim sürecinde sürdürülebilir kalite kontrol sistemleri kurulmalıdır. Tüm bunları doğru şekilde yapabilmek için gıdaların içerisindeki zararlı maddelerin ve patojenlerin doğru tespiti çok önemlidir. Gıda güvenliğini tehdit eden unsurlar ve bakterilerin tespiti için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yer almaktadır.

Yapılan çalışmada gıda güvenliğini tehdit eden temel unsurlar ele alınmış olup en önemli tehdit unsurlarından olan bakteriler için tespit yöntemleri paylaşılmış ve bunların gıda güvenliğini koruma açısından önemi vurgulanmıştır. Bununla birlikte bakteri tespiti için geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan biyosensör teknolojilerinden bahsedilmiştir.

Tüm bu yöntemler, gıda güvenliğini sağlamak için önemli adımlardır ve gıda üreticilerinin, işletmelerin ve tüketicilerin sorumluluklarını yerine getirmeleri ile daha güvenli gıda tüketimi mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gıda güvenliği, bakteri, biyosensör

ABSTRACT

Food safety is a very important issue to protect the health and well-being of consumers and must be ensured in all processes from food production to consumption. People cannot be safe in consuming healthy food without ensuring food safety. Contaminated food can cause infections, poisonings and diseases to the consumers. These conditions can be life-threatening, especially for children, the elderly, pregnant women, and those with compromised immune systems. For these reasons, it is a common responsibility of the food industry, consumers and societies to ensure food safety in all processes and at every stage.

In order to ensure food safety, proper hygiene conditions in food production must be provided, the sources of food must be followed and the correct storage conditions must be provided besides proper personnel training and sustainable quality control systems in the production process. In order to do all these things correctly, the accurate detection of harmful substances and pathogens in foods is very important. There are several methods for the detection of substances and bacteria that threaten food safety. These methods include physical, chemical and microbiological analysis.

In the study, the main factors that threaten food safety are shared, detection methods for bacteria which are one of the most important threat factors are discussed and their importance in terms of protecting food safety is emphasized. In addition, biosensor technologies that have been developed and are being developed for the detection of bacteria are mentioned.

All these methods are important steps to ensure food safety and safer food consumption will be possible if food manufacturers, businesses and consumers fulfill their responsibilities.

Keywords: Food safety, bacteria, biosensor

GİRİŞ

Gıda güvenliği, gıda ürünlerinin üretimi, işlenmesi, dağıtımı ve tüketimi sürecindeki tüm faaliyetlerin kalitesinin ve güvenilirliğinin sağlanmasıdır. İnsan sağlığı ve refahı açısından son derece önemli bir konu olduğu için gıda üreticileri ve tüketicileri, gıda güvenliği konusunda son derece dikkatli olmalı ve tüm gıda ürünlerinin güvenli olduğundan emin olmalıdır (Borchers ve ark., 2010). Çünkü güvensiz gıda tüketimi, sağlık sorunlarına yol açabilir, toplum sağlığını ve ekonomisini olumsuz etkiler. Örneğin toplu bir gıda zehirlenmesi, halk sağlığı krizine yol açabilir ve birçok insanın hastalanmasına neden olabilir. Bu durum, tüketicilerin güvenini sarsarak gıda üreticilerinin itibarını zedeler ve gıda endüstrisini ciddi ekonomik zarara uğratar (Lawrence ve ark., 2007).

Gıda güvenliği, gıda üreticilerinin, işleyicilerinin, dağıtıcılarının ve tüketicilerinin sorumluluğu altındadır. Gıda işleme, üretim ve dağıtım süreçleri hijyenik koşullarda sağlanmalı, gıda ürünlerinin uygun saklama koşulları ve son kullanma tarihleri belirlenmelidir. Tüketiciler ise gıda ürünlerini doğru şekilde saklamalı ve pişirme yöntemlerine uygun şekilde kullanmalıdır (Fung ve ark., 2018). Gıda üretimi ve tüketimi dünya genelinde giderek artmakta olup bu durum gıda güvenliğini tehdit eden unsurları da arttırmaktadır (Deninger ve Sur, 2006). Bu nedenle, ülkeler arası işbirliği ve uluslararası standartların belirlenmesi, gıda güvenliği sorunlarının çözümünde önemli bir rol oynamaktadır (Fukuda, 2015).

Ulusal ve uluslararası düzeyde gıda güvenliği ile ilgili oluşabilecek sorunları çözmek için öncelikle bu sorunların neler olabileceğini iyi tespit etmek gerekir. Sorunun çözümüne yönelik olarak en etkili bilimsel yöntemlerin kullanılması ve yenilerinin geliştirilmesi en etkili yaklaşımlardan biri olacaktır. Bu çalışmanın amacı gıda güvenliğini tehdit eden unsurlara dikkat çekmek ve bunların bertarafı için uygulanan ve uygulanma potansiyeli olan bilimsel yöntemlerden bahsetmektir.

GIDA GÜVENLİĞİNİ TEHDİT EDEN UNSURLAR

Gıda güvenliği sağlanmadığı takdirde, insanların tüketimine sunulan gıdaların içinde zararlı mikroorganizmalar, kimyasallar ve toksinler olabilir. Bu durum insan sağlığına zararlı etkiler yaratarak ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Gıda güvenliğini tehdit eden unsurlardan önde gelenler aşağıda verilmektedir:

1) Mikroorganizmalar: Bakteri, virüs, mantar ve parazitler gibi mikroorganizmalar, gıdalarda hastalık yapıcı etkileri olan toksinler üretebilirler (Durlu Özkaya, 2008).

Gıda güvenliğini tehdit eden mikroorganizmaların başında *Salmonella* (özellikle hayvansal gıdalardan bulaşma riski vardır), *Campylobacter* (özellikle kümes hayvanlarının etinde bulunabilir), *Vibrio* (özellikle çiğ veya az pişmiş deniz ürünlerinde bulunabilir), *Esherichia coli* (çiğ veya az pişmiş etlerde bulunabilir), *Listeria monocytogenes* (pastörize edilmemiş süt ürünleri, taze peynirler, sosisler ve işlenmiş

etlerde bulunabilir) gibi bakteriler (Ceyhun-Sezgin, 2020; Ali ve ark., 2020); norovirüs (enfekte insanların dışkıyla yayılır; kontamine deniz ürünleri ve yemeklerden bulaşabilir), adenovirüs, rotavirüs ve hepatit A gibi kontamine su veya gıdaların tüketilmesi sonucu yayılan virüsler (Makun, 2016, Fung ve ark., 2018); *Aspergillus flavus* (özellikle fındık, mısır ve soya fasulyesi gibi gıdalarda bulunur ve aflatoksin adı verilen bir toksin üreterek karaciğer hasarına neden olabilir ve kansere yol açabilir) gibi mantarlar, *Toxoplasma gondii* (kontamine et ve süt ürünlerinden insanlara bulaşabilir) gibi protozoalar (Zdolec ve Kis, 2021) ve *Anisakis simplex* (çiğ veya az pişmiş deniz ürünlerinde bulunabilir) gibi parazitler (Aibinu ve ark., 2019) gelmektedir.

Bu tür mikroorganizmalar, uygun hijyenik koşulların sağlanmaması, gıda işleme veya saklama süreçlerinde hatalı uygulamalar ve kontaminasyon nedeniyle gıdalara bulaşabilirler (Havelaar ve ark., 2010).

2) Kimyasal maddeler: Gıda üretiminde kullanılan kimyasal maddeler, gıdaların kalitesini ve güvenliğini etkileyebilir. Örneğin, tarım ilaçları, gıda işleme sırasında kullanılan katkı maddeleri veya ambalaj malzemeleri, gıdalarda kimyasal kontaminasyona neden olabilirler (Jackson, 2009).

3) Fiziksel kontaminasyon: Gıdalar, üretim, paketlenme ve dağıtım süreçlerinde fiziksel kontaminasyona maruz kalabilirler. Örneğin, cam kırıkları, plastik parçalar veya metal parçalar, gıdalara bulaşarak tüketicilerin sağlığı için tehlike oluşturabilirler (Haręza ve Zmudziński, 2021).

4) İnsan faktörleri: İnsan faktörleri, gıda güvenliğini olumsuz etkileyebilir. Örneğin, hijyenik koşulların yetersiz olması, hatalı işleme ve saklama, personel eğitimi eksikliği veya dikkatsizlik gibi nedenler gıda ürünlerinde kontaminasyona neden olabilir (Özkaya ve Cömert, 2008; Sharman ve ark., 2020).

5) Doğal afetler: Doğal afetler, gıda üretim ve dağıtım zincirinde önemli bir rol oynar. Örneğin, seller, yangınlar, depremler veya kasırgalar, tarım arazilerine ve gıda üretimine zarar verebilirler. Ayrıca, doğal afetler gıda üretim ve dağıtım zincirinde aksaklıklara ve gecikmelere neden olabilir (Barrett ve Lentz, 2009).

Bu unsurlar, gıda güvenliği ile ilgili risklerin sadece birkaç örneğidir. Bu nedenle, gıda endüstrisi, tüketicilerin sağlığı ve refahı için gerekli önlemleri almak ve gıda güvenliği standartlarını uygulamak zorundadır (Jongwanich, 2009). Gıda güvenliğini sağlamak amacıyla tehdit unsurlarını ortadan kaldıracak önlemler alınmalıdır. Bu önlemlerin başında gıda güvenliğini tehdit eden en önemli unsurlardan olan patojenik bakterilerin tespit edilmesi ve hijyenik koşulların sağlanması önemlidir.

BAKTERİLERİN TESPİTİ İÇİN YÖNTEMLER

Gıda güvenliğini tehdit eden bakterilerin tespiti için pek çok farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır (Aras, 2011):

Kültür Yöntemi

Bu yöntem, gıdalardan örnekler alarak, örnekleri bir besiyerinde kültüre etmek ve büyütme suretiyle bakteri varlığını tespit etmektedir. Bu yöntem genellikle standart bir yöntemdir ve birçok farklı bakteri türü için kullanılabilir. Bakteri kültürü yöntemi, bir mikroorganizmanın laboratuvar koşullarında üretilmesini ve çoğaltılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, birçok alanda, özellikle de tıp, gıda güvenliği, biyoteknoloji ve çevre sağlığı gibi alanlarda kullanılır (Lagier ve ark., 2015).

Bakteri kültürü yapmak için, öncelikle uygun bir besiyeri seçilmelidir. Besiyerleri, mikroorganizmaların büyüyeceği ve üreyebileceği bir ortam sağlarlar. Besiyeri, genellikle bir petri kabı içinde bulunur ve besiyeri içine kültür edilecek olan mikroorganizma eklenir (Bonnet ve ark., 2020). Sonrasında, petri kabı kapatılır ve uygun bir sıcaklık, nem ve oksijen seviyesinde inkübasyona bırakılır. Bakteri kültürü testleri, yüzey kültürü ve sıvı kültürü olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilir (Gracias ve McKillip, 2004; Li ve ark., 2020).

Yüzey kültürü, petri kabının yüzeyindeki besiyerinde bakterilerin üretildiği bir yöntemdir. Bu yöntem, birçok farklı bakteri türü için kullanılabilir. Petri kabının yüzeyine besiyeri yayılır ve bakteri örnekleri, besiyerin üzerindeki farklı noktalara eklenir. Sonrasında, petri kabı kapaklı bir şekilde inkübasyona bırakılır (Gracias ve McKillip, 2004).

Sıvı kültürü, bakterilerin bir sıvı besiyerinde üretildiği bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle bakterilerin sayısını artırmak ve daha yüksek miktarlarda bakteri üretmek için kullanılır. Sıvı kültürü, birçok farklı şekilde yapılabilir ancak genellikle uygun bir besiyeri içine bakteri eklenir ve sıvı besiyerinde inkübasyona bırakılır (Gracias ve McKillip, 2004).

Bakteri kültürü yöntemi, mikroorganizmaların incelenmesi, tanımlanması ve diğer analizlerin yapılması için önemlidir. Bu yöntem, hastalık teşhisi, antibiyotik direnci tespiti, gıda güvenliği analizleri, biyoteknolojik ürünlerin üretimi ve diğer birçok alanda kullanılabilir (Váradı ve ark., 2017).

Moleküler Yöntemler

Bu yöntemler, gıdalarda bulunan bakterilerin DNA analizi ile tespit edilmesini sağlar. Bir DNA örneğindeki belirli bir bölgenin çoğaltılmasını ve bu bölgenin çoklu kopyalarının kullanımı ile daha fazla analiz yapılmasını sağlayan PCR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu) gibi yöntemler, birçok bakteri türü için spesifik olarak tasarlanabilir ve sonuçlar daha hızlı bir şekilde elde edilebilir (Babalola, 2003; Fung, 2002). Bu yöntemle, analiz süresi 16 saat gibi kısa bir süreye düşürülmüştür (Vinayaka ve ark., 2019).

PCR yöntemi, DNA'nın iki ipliğinin ayrıştırılması, özel tasarlanmış kısa DNA parçalarının (primerlerin) seçilmesi, DNA polimeraz enziminin kullanılması ve sıcaklık döngüleri ile gerçekleştirilir. İşlem denatürasyon, primer bağlanması ve uzatma adımlarını içerir (Fung, 2002).

Denatürasyon: DNA örnekleri, yüksek sıcaklıkta (genellikle 95°C) tutularak çift iplikli DNA'nın ayrışması sağlanır (Xu ve ark., 2000).

Primer bağlanması: Daha sonra sıcaklık 50-60 °C'ye düşürülerek primerler, DNA örnekleri ile eşleşecek şekilde tasarlanmış olan kısa parçalar, DNA örneklerine bağlanır (Law ve ark., 2015).

Uzatma: Sıcaklık yükseltılarak (genellikle 72 °C) DNA polimeraz enzimi, primerlerin üstüne bağlanarak çift iplikli DNA örneğinin kopyalanması için gerekli olan yeni nükleotitleri birleştirir (Law ve ark., 2015).

Bu işlemler, 30-40 °C sıcaklık döngüsü boyunca tekrarlanarak DNA parçasının milyonlarca kopyası oluşturulur. PCR sonrasında elde edilen DNA örnekleri, farklı yöntemlerle analiz edilebilir. Örneğin, DNA dizileme yöntemiyle DNA dizisi belirlenebilir ya da jel elektroforez yöntemiyle DNA fragmanları farklı boyutlara göre ayrıştırılabilir (Fung, 2002).

Gıda güvenliğini tehdit eden bakterilerden *Salmonella spp.* ve pek çok bakterinin gıda ürünlerinde tespiti için PCR gibi nükleik asit analizine dayalı amplifikasyon, hibridizasyon, mikrodizi (microarray) ve yüksek verimli sıralama gibi pek çok teknoloji geliştirilmiştir (Lin ve ark., 2020). Örneğin *Salmonella spp.* için mikrodizi yöntemi uygulanırken 11 antimikrobiyal rezistans geni incelenir (Meng gen ve ark., 2007); QD (quantum dots)-mikrodizi yöntemi için 16S rRNA geni incelenir (Huang ve ark., 2014). Gerçek zamanlı PCR yönteminde *Salmonella spp.* analizi için *invA*, *stn*, *fimA* hedef genleri incelenir (Liu ve ark., 2014). Nükleik asit temelli yöntemlerden, özellikle gerçek zamanlı PCR yöntemi, hem *Salmonella spp.* hem de diğer pek çok mikroorganizmanın tespiti için yaygın şekilde uygulanan; yüksek hassaslık, doğruluk ve güvenilirliğe sahip bir yöntemdir.

PCR yönteminin önemli tek dezavantajı, bir numunedeki canlı ve ölü mikroorganizma arasındaki farkı algılayamamasıdır. Ölü mikroorganizmada da gen bölgeleri korunduğu için yanlış pozitif sonuç alınabilmektedir (Park ve ark., 2014). Ancak genel olarak PCR yöntemi, genetik hastalıkların tanısında, patojenlerin tanısında, gıda güvenliği analizlerinde ve biyoteknolojik ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Aras, 2011).

İmmünojenik Yöntemler

Bu yöntemler, antikorların gıda örnekleri ile reaksiyona girmesi yoluyla bakteri varlığını tespit eder. Bu yöntemler, hızlı sonuçlar verir ve birçok farklı bakteri türü için uygulanabilir (Fung, 2006). Bir antijenin ya da antikorun varlığının saptanması için kullanılan immünojenik test yöntemi ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)'dır. Bu yöntem, spesifik antijen-antikor reaksiyonlarına dayanır ve bir antijenin veya antikorun varlığını veya miktarını tespit eder (Shah ve Maghsoudlou, 2016).

ELISA testi, direkt ve indirekt olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir (Shah ve Maghsoudlou, 2016).

Direkt ELISA: Özellikle yüksek molekül ağırlıklı antijenlerin tespitinde uygulanır. Bu yöntemde, antijen doğrudan mikrotitre kabının plaka yüzeyine bağlanır. Ardından antikorlar bir enzimle işaretlenir ve plakadaki antijen ile birleştirilerek belirli süre inkübe edilir. Son olarak, plaka yıkanır ve bağlanmamış işaretli antikorlar ortamdaki uzaklaştırılır. Bağlanmış olan işaretli antikorlar ise ortama uygun enzimin eklenmesiyle renk verir ve bu renk değişimi ile antijen varlığı ve miktarı belirlenir (Singh ve ark., 2011).

İndirekt ELISA: Numune içindeki antijenler mikrotitre kabının plaka yüzeyine bağlanır. Öncelikle işaretlenmemiş birincil antikorlar eklenir ve antijen ile primer antikor belirli süre inkübe edilir. Ardından yapılan yıkama işlemi ile bağlanmayan birincil antikorlar ortamdaki uzaklaştırılır ve birincil antikorlara özgü enzim ile işaretlenmiş ikincil antikorlar plakaya aktarılır. Belirli bir inkübasyon süresinden sonra tekrar yıkama işlemi yapılır ve bağlanmamış ikincil antikorlar ortamdaki uzaklaştırılır. Son olarak enzimin substratı kuyulara eklenir ve gözlenen renk değişimi sayesinde antikor varlığı ve miktarı belirlenir (Shah ve Maghsoudlou, 2016).

Örneğin *Salmonella spp.* tanısı için somatik (O), flagella (H) ve kapsül (V_i) antijenlere bağlanacak spesifik mono – ve poliklonal antikorlar kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2015). Bu yöntemlerin hassasiyeti ve özgüllüğü antikorun antijene bağlanma gücü ile ilişkilidir. *Salmonella spp.* ana yüzey antijenine bağlanan antikorlar genellikle lipopolisakarit yapıdadır (Wang ve ark., 2015) ve ELISA dedeksiyon limiti 10³-10⁵ CFU/ml arasındadır (Jain ve ark., 2012). PCR yöntemine göre daha az duyarlı ve özgül olsa da ELISA testlerinin tıp alanında hastalıkların tanısı, ilaç keşfi ve geliştirilmesi, gıda güvenliği kontrolü, çevresel toksinlerin tespiti gibi birçok farklı uygulama alanı vardır. ELISA testleri, diğer immünolojik test yöntemlerine göre daha hızlı ve daha duyarlıdır ve birçok laboratuvarında rutin olarak kullanılmaktadır (Shah ve Maghsoudlou, 2016).

Spektroskopik Yöntemler

Bu yöntemler, gıdaların ışıkla etkileşimini analiz ederek bakterilerin varlığını tespit eder. Bu yöntemler, gıda endüstrisi tarafından sıklıkla kullanılmazlar, ancak hızlı ve doğru sonuçlar verirler (Nawrocka ve Lamorska, 2011).

Spektroskopik yöntemler, birçok farklı alanda kullanılan analitik tekniklerdir ve bakteri tespiti de dahil olmak üzere birçok farklı uygulama alanı vardır. Bu yöntemler, ışık emilimi, yansımaları veya saçılması gibi farklı fiziksel olayları kullanarak örneklerdeki kimyasal veya biyolojik bileşenlerin tespit edilmesine olanak tanır (Nawrocka ve Lamorska, 2011).

Bakteri tespiti için en sık kullanılan spektroskopik yöntemler aşağıda verilmektedir:

UV-Vis (Ultraviyole – Görünür Bölge) spektroskopisi: Bu yöntem, örneklerdeki bileşenlerin UV veya görünür ışık spektrumundaki emilimini ölçerek çalışır. Bakterilerdeki belli bileşenlerin ışık emilim özellikleri, bakteri türlerinin

tanımlanmasında kullanılabilir (Nawrocka ve Lamorska, 2011).

FT-IR (Fourier Dönüşümü – Kızılötesi) spektroskopisi: FT-IR, örneklerdeki kimyasal bileşenlerin moleküler titreşimlerini ölçerek çalışır. Bakteri hücrelerindeki moleküler bileşenlerin titreşim özellikleri, bakteriye özgü moleküller hakkında fikir verebilir (Boyacı ve ark., 2015).

Raman spektroskopisi: Bu yöntem, örneklerdeki moleküllerin yüksek enerjili lazer ışınlarına maruz kalması sonucu saçılan ışınımı ölçerek çalışır. Bakteri hücrelerinde Raman ışımaya cevap verecek moleküller varsa bu yöntem, bakterilerin tespiti için kullanılabilir (Boyacı ve ark., 2015).

Spektroskopik yöntemler, bakteri tespiti için geleneksel bakteriyel kültür tekniklerinden daha hızlı ve daha duyarlıdır. Ancak, bu yöntemlerin bazı dezavantajları da vardır: Örneğin, bileşenlerin doğru bir şekilde ayırt edilebilmesi için örneklerin önceden hazırlanması gerekebilir ve bazı yöntemler özel ekipman gerektirir. Bahsi geçen yöntemlerin hepsi, farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptirler (Nawrocka ve Lamorska, 2011).

Tüm bu yöntemlere alternatif olarak daha hızlı ve duyarlı şekilde sonuç almak amacıyla biyosensör geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Ancak bakterilere veya tespit edilmesi istenen bileşene özgü biyosensör geliştirmek zaman alıcı ve zahmetli olabilmektedir.

Biyosensörler

Biyosensörler, biyolojik bileşenlerle (enzimler, antikorlar, DNA) işlevselleştirilmiş duyarlı algılayıcılar ve sinyal dönüştürücülerden oluşan analitik cihazlardır (Leonard ve ark., 2003). Bu cihazlar, birçok uygulamada, özellikle gıda güvenliği, tıp, çevre, tarım ve biyoteknoloji gibi alanlarda kullanılırlar (Lazcka ve ark., 2007).

Biyosensörler, gıda güvenliği alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, gıda kaynaklı mikroorganizmaların hızlı ve doğru tespiti için biyosensörlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, biyosensör geliştirme süreci oldukça karmaşık ve çok adımlıdır (Lazcka ve ark., 2007).

Biyosensör geliştirme aşamaları aşağıda özetlenmektedir:

Algılayıcı elemanın seçimi: Biyosensörde kullanılacak algılayıcı eleman seçimi, hedef analitin doğası ve özelliklerine bağlıdır. En yaygın kullanılan algılayıcı elemanlar, antikorlar, enzimler ve DNA'dır (Thakur ve Ragavan, 2012).

Biyoreseptör immobilizasyonu: Algılayıcı eleman, duyarlılık ve seçicilik özelliklerini koruyacak şekilde bir matrise immobilize edilir (Thakur ve Ragavan, 2012).

Transdüser seçimi: Transdüser, biyoreseptör tarafından algılanan sinyalleri ölçülebilir bir sinyale dönüştürür. Bu aşamada, algılama metodolojisi seçilir (Thakur ve Ragavan, 2012).

Optimizasyon: Biyosensörün performansını optimize etmek için, en uygun koşulların belirlenmesi gereklidir. Bu adımda, duyarlılık, seçicilik, ölçüm hızı, örnek hazırlama yöntemleri gibi faktörler incelenir (Thakur ve Ragavan, 2012).

Kalibrasyon ve validasyon: Biyosensörün doğruluğunun ve güvenilirliğinin belirlenmesi için kalibrasyon ve validasyon adımları gerçekleştirilir (Thakur ve Ragavan, 2012).

Biyosensör geliştirme süreci oldukça karmaşık ve uzun bir süreçtir. Ancak, bu teknolojinin, gıda güvenliği alanında hızlı, doğru ve güvenilir analizler yapılmasına olanak sağladığı için, birçok uygulama alanında önemli bir potansiyele sahiptir (Ivnitski ve ark., 1999).

Günümüzde gıda kaynaklı hastalıklara neden olan *Salmonella*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* gibi bakteriler (Karlsson, 2004), *Norovirus*, *Rotavirus*, *Hepatitis A* ve *Hepatitis E* gibi virüsler (Neethirajan ve ark., 2017), *Aspergillus flavus* gibi küf mantarları (Sedighi-Khavidak ve ark., 2017) biyosensörlerle tespit edilebilmektedir.

Bu tür mikroorganizmaların tespiti için farklı yöntemleri kullanan biyosensör çeşitleri bulunmaktadır. Bu amaçla en sık kullanılan biyosensör çeşitleri aşağıda verilmektedir:

Elektrokimyasal biyosensörler: Analit ve biyoreseptör arasındaki etkileşimin elektrokimyasal özelliklerinden yararlanarak çalışır. Biyoreseptör, hedef analite bağlandığında veya onunla reaksiyona girdiğinde, elektriksel bir sinyal üretir. Bu sinyal, transdüser tarafından algılanır ve elektriksel olarak ölçülür. Ölçülen sinyal, hedef analitin konsantrasyonu veya varlığı hakkında bilgi verir. Elektrokimyasal biyosensörler, gıda analizlerinde yaygın olarak kullanılan biyosensörlerdir (Keskin ve Arslan, 2020).

Optik biyosensörler: Işık kaynakları, optik fiberler, yüzey plazmon rezonansı (SPR) gibi optik bileşenleri kullanarak çalışırlar. Genellikle hedef analiti tanıyan veya ölçen bir biyolojik bileşen (biyoreseptör: antikorlar, enzimler, DNA veya hücreler), bir yüzey (biyolojik bileşen immobilize edilir) ve bir optik sinyal işleme ünitesi içerirler. Biyoreseptörün analit ile etkileşimi sonucu, plazmonik dalga boyu değişimi veya floresans ışımaya gibi optik bir değişim meydana gelir ve optik algılayıcılar tarafından bu değişim miktarı ölçülür (Keskin ve Arslan, 2020).

Akustik biyosensörler: Ses dalgalarının özelliklerini kullanarak biyolojik etkileşimleri algılayan biyosensörlerdir. Yüzey akustik dalgaları (SAW) veya kalınlık titreşim modları (TSM) gibi akustik teknikler kullanarak biyomoleküllerin varlığını tespit ederler. Diğer tekniklere benzer şekilde dizayn edilirler ancak burada biyoreseptör-analit etkileşimi sonrası yayılan akustik sinyaller ölçülür (Estrela ve ark, 2016).

Manyetik biyosensörler: Bir biyolojik bileşen, bir manyetik parçacık ve bir algılayıcıdan oluşurlar ve manyetik alanı kullanarak biyomoleküllerin varlığını tespit ederler. Biyolojik bileşen, hedef analiti tanıyan veya ölçen bir biyoreseptördür. Manyetik parçacık, biyolojik bileşenin immobilize edildiği veya kaplama yapıldığı bir substrata bağlı olan manyetik bir malzemedir. Algılayıcı ise manyetik parçacıkların hareketini

ölçen ve analiz eden bir manyetik algılayıcıdır. Manyetik biyosensörlerin en yaygın kullanım alanlarından biri, DNA veya protein gibi biyomoleküllerin tespitidir. Bu sensörler, manyetik bir parçacığın bir DNA veya proteine bağlandığını hassas ve spesifik bir şekilde tespit edebilirler (Llandro ve ark. 2010).

Ayrıca kullanılan biyoreseptör türüne göre de biyolojik materyallerin algılanmasında kullanılan biyosensör türleri aşağıda verilmektedir:

Nanobiyosensörler: Son yıllarda geliştirilen bir biyosensör türüdür. Bu biyosensörler, nano boyutta malzemeleri kullanarak biyomoleküllerin varlığını tespit ederler. Nanobiyosensörler de biyoreseptör-analit etkileşimi sonrası üretilen sinyallerin ölçümünü de dayanır ancak çok daha hassas ve spesifik ölçüm yapabilirler. Örneğin, altın nanoparçacıklarına immobilize edilen DNA oligonükleotidleri, tamamlayıcı DNA sekanslarını tanıyan hedef analitleri tespit etmek için kullanılırken karbon nanotüpler de proteinler veya hücrelerin tanınması için kullanılabilir. Nano boyutta grafen ise biyomoleküllerin tespiti için yüksek hassasiyet sağlar (Chamorro-Garcia ve Merkoçi, 2016).

Biyoluminesans sensörleri: Mikroorganizmaların varlığını tespit etmek için biyoluminesans reaksiyonlarını kullanırlar; biyolojik bir reaksiyon sonucu oluşan ışık sinyalini algılayarak absorplanan ya da yayılan ışığın şiddetini nicel veya nitel olarak ölçerler. Işık kaynağı, biyolojik materyalin kendisi veya biyolojik materyal ile etkileşime giren bir kimyasaldır. Örneğin ATP (adenozin trifosfat) ölümlerinde ATP'ye özgü bir enzim kullanılarak ATP hidroliz edilir ve bu reaksiyon sonucu ışık sinyali oluşur, ışık sinyalinin şiddetine bağlı olarak ATP konsantrasyonu belirlenir. Bu tür sensörlerin gıda endüstrisinde, su kalitesinin belirlenmesinde, tıp ve biyoteknoloji alanlarında yaygın kullanımları bulunur (Lee ve ark., 2008).

İmmünosensörler: Mikroorganizma kaynaklı antijene özgül antikorları kullanarak o mikroorganizmanın varlığı tespit edilir. Bu antikorlar, biyosensörün yüzeyine immobilize edilir ve mikroorganizma antijenleri ile reaksiyona girerler. Bu reaksiyon sonucunda ölçülebilir bir sinyal oluşur ve tespit gerçekleştirilir (Aydın ve ark., 2021).

DNA sensörleri: DNA'yı algılamak için tasarlanmış biyosensörlerdir ve DNA'nın hedef bölgesindeki spesifik dizileri tespit etmek için özelleştirilmiş prob setleri kullanılır. DNA içeren mikroorganizmaların DNA'sına özgül olan hedef bölgeleri tanıyarak ilgili mikroorganizmanın varlığını saptarlar. DNA sensörleri genellikle bir elektronik, optik veya manyetik algılama cihazı ile birleştirilir. Bu tür sensörler özellikle genetik hastalıkların tanısı, patojenlerin tespiti ve biyolojik savaş ajanlarının tespitinde uygulama alanına sahiptir (Cosnier ve Mailley, 2008).

Bahsedilen tüm biyosensör teknolojilerinde özellikle seçicilik çok önemlidir. Geliştirilen biyosensörün yalnızca tespit edilmesi istenen bileşene özgü sinyaller vermesi istenir. Bu nedenle pek çok türün biyosensörlerle dedekte edilmesi

henüz mümkün değildir. Ancak buna yönelik çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

SONUÇLAR

Güvenli gıda üretimi ve tüketimini sağlayabilmek amacıyla gıda güvenliğini tehdit eden unsurların doğru belirlenmesi ve bu unsurlara yönelik tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu açıdan, gıda güvenliğini tehdit eden bakterilerin tespiti, oldukça büyük öneme sahiptir. Çünkü birçok gıda ürünü, özellikle hayvansal kaynaklı gıdalar, bakterilerin büyümesi için uygun bir ortam sunarlar. Eğer gıda ürünleri doğru şekilde işlenmez, saklanmaz veya hazırlanmazsa, bakterilerin büyümesi ve çoğalması sonucu gıda bozulabilir ve tüketildiğinde insan sağlığına zarar verebilir.

Bakterilerin tespiti, gıda güvenliği açısından hem önleyici hem de düzeltici bir önlem olarak kullanılabilir. Önleyici olarak, üretim sürecinin her aşamasında bakteri tespiti yapılarak gıda ürünlerindeki bakteri sayısı kontrol altına alınabilir. Böylece, ürünlerin raf ömrü uzatılabilir ve potansiyel sağlık riskleri azaltılabilir. Düzeltici olarak, gıda ürünleri satışa sunulmadan önce bakteri tespiti yapılabilir ve olası bir kontaminasyon durumunda hızlı bir şekilde müdahale edilebilir. Bu sayede, gıda ürünlerinin toplatılması veya satışının durdurulması gibi riskli durumlar önenebilir.

Bu nedenle hızlı, doğru ve güvenilir bir şekilde bakterilerin tespitinin yapılması gerekmektedir. Tespit edilecek tür, ortam ve koşullara bağlı olarak uygun yöntemlerin seçilmesi ve uygulanması, gıda üretimi ve tüketimi açısından sağlık risklerinin azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte yeni gelişmeler takip edilmeli ve daha hassas ve spesifik ölçüm yöntemleri tercih edilmelidir.

Sonuç olarak, bakterilerin tespiti gıda güvenliği açısından hayati önem taşır ve gıda ürünlerindeki bakteri sayısının kontrol altında tutulması, güvenli ve sağlıklı gıda tüketimini sağlamak için gereklidir.

TEŞEKKÜR

Çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı (BAPKO) tarafından TYL-2022-10771 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Aibinu IE, Smooker PM, Lopata AL. Anisakis Nematodes in Fish and Shellfish – from infection to allergies. *Int J Parasitol Parasites Wildl.* 2019; 9:384-393.
- [2] Ali A, Parisi A, Conversano MC, Iannacci A, D'Emilio F, Mercurio V, Normanno G. Food-Borne Bacteria Associated with Seafoods: A Brief Review. *J Food Qual Hazards Control.* 2020; 7:4-10.
- [3] Aras Z. Mikrobiyolojide kullanılan hızlı tanı yöntemleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi.* 2011;68(2):97-104.
- [4] Aydin M, Aydin EB, Sezgintürk MK. Advances in Immunosensor technology, *Adv Clin Chem.* 2021;102:1-62.

- [5] Babalola OO. Molecular techniques: An overview of methods for the detection of bacteria. *Afr J Biotechnol.* 2003;2(12):710-713.
- [6] Barrett CB, Lentz EC. Food Insecurity. *International Studies Compendium Project.* 2009;1-44.
- [7] Bonnet M, Lagier J, Raoult D, Khelaifia S. Bacterial culture through selective and non-selective conditions: the evolution of culture media in clinical microbiology. *New Microbes and New Infect.* 2020; 34:1-11.
- [8] Borchers A, Teuber SS, Keen CL, Gershwin ME. Food safety. *Clinic Rev Allerg Immunology.* 2010;39(2):95-141
- [9] Boyacı İH, Temiz HT, Geniş HE, Soykut EA, Yazgan NN, Güven B, Uysal RS, Bozkurt AG, İlaslan K, Torun Ö, Şeker FCD. Dispersive and FT-Raman spectroscopic methods in food analysis. *RSC Adv.* 2015; 5:1-52.
- [10] Ceyhun-Sezgin, A. Gıda güvenliği açısından tehlike oluşturan bazı bakteriler ve sağlık üzerinde etkileri. *Journal of Global Food Research,* 2020;1(1):1-9.
- [11] Chamorro-Garcia A, Merkoç A. Nanobiosensors in diagnostics. *Nanobiomed.* 2016; 3:1–26.
- [12] Cosnier S, Mailley P. Recent advances in DNA sensors. *Analyst.* 2008; 133:984-991.
- [13] Deininger DU, Sur M. Food safety in a globalizing world: opportunities and challenges for India. *Agric Econ.* 2006;37(s1):1-40.
- [14] Durlu-Özkaya F. Gıda zehirlenmelerinde etken faktörler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi.* 2008;65(3):149-158.
- [15] Estrela P, Fogel R, Limson J, Seshia AA. Acoustic biosensors. *Essays Biochem.* 2016;60(1):101-110.
- [16] Fukuda K. Food safety in a globalized world. *Bull World Health Organ.* 2015;93(4):210-213.
- [17] Fung D. Rapid methods and automation in food microbiology: 25 years of development and predictions. *Global Issues in Food Sci Technol.* 2006;165-176.
- [18] Fung DYC. Rapid methods and automation in microbiology. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2002;1(1):3-22.
- [19] Fung F, Wang HS, Menon S. Food safety in the 21st century. *Biomed J.* 2018;41(2):88-95.
- [20] Gracias KS, McKillip JL. A review of conventional detection and enumeration methods for pathogenic bacteria in food. *Can J Microbiol.* 2004;50(11):883-890.
- [21] Hareža P, Zmudziński W. Methods to prevent marketing and distribution of physically contaminated food products. *Eur Res Stud.* 2021;24(4):614-631.
- [22] Havelaar AH, Brul S, Jong AEI, Jonge R, Zwietering MH, Kuile BH. Future challenges to microbial food safety. *Int J Food Microbiol.* 2010;139 (Suppl 1):79-94.
- [23] Huang A, Qiu Z, Jin M, Shen Z, Chen Z, Wang X, Li JW. High-throughput detection of food-borne pathogenic bacteria using oligonucleotide microarray with quantum dots as fluorescent labels. *Int J Food Microbiol.* 2014; 185:27-32.
- [24] Ivnitski D, Abdel-Hamid I, Atanasov P, Wilkins E. Biosensors for detection of pathogenic bacteria. *Biosens Bioelectron.* 1999;14(7):599-624.
- [25] Jackson LS. Chemical food safety issues in the united states: past, present, and future. *J Agric Food Chem.* 2009;57(18):8161-8167.
- [26] Jain S, Chattopadhyay S, Jackeray R, Abid CK, Kohli GS, Singh H. Highly sensitive detection of *Salmonella typhi* using surface

- aminated polycarbonate membrane enhanced-ELISA. *Biosens Bioelectron.* 2012;31(1):37-43.
- [27] Jongwanich J. Impact of food safety standards on processed food exports from developing countries. *ADB Econ Work Pap Ser.* 2009; 154:1-33.
- [28] Karlsson R. SPR for molecular interaction analysis: a review of emerging application areas. *J Mol Recognit.* 2004;17(3):151-161.
- [29] Keskin M, Arslan F. *Biyosensörler. Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi.* 2020;1(1-2):51-60.
- [30] Lagier JC, Edouar S, Pagnier I, Mediannikov O, Drancourt M, Raoult D. Current and past strategies for bacterial culture in clinical microbiology. *Clin Microbiol Rev.* 2015;30:119-2(19):2052-2975.
- [31] Law JWF, Mutalib NSA, Chan KG, Lee LH. Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: principles, applications, advantages and limitations. *Front. Microbiol.* 2015;5(770):1-19.
- [32] Lawrence DT, Dobmeier SG, Bechtel LK, Holstege CP. Food poisoning. *Emerg Med Clin N Am.* 2007;25(2):357-373.
- [33] Lazcka O, Campo FJ, Munoz FX. Pathogen detection: A perspective of traditional methods and biosensors. *Biosens Bioelectron.* 2007;22(7):1205-1217.
- [34] Lee K-M, Runyon M, Herrman TJ, Phillips R, Hsieh J. Review of *Salmonella* detection and identification methods: aspects of rapid emergency response and food safety. *Food Control* 2015; 47:264-276.
- [35] Lee SJ, Park JS, Im HT, Jung H. A microfluidic ATP-bioluminescence sensor for the detection of airborne microbes. *Sens and Actuators B Chem,* 2008;132(2):443-448.
- [36] Leonard P, Hearty S, Brennan J, Dunne L, Quinn J, Chakraborty T, Kennedy R. Advances in biosensors for detection of pathogens in food and water. *Enzyme Microb Technol.* 2003; 32:3-13.
- [37] Li S, Tian Y, Jiang P, Lin Y, Liu X, Yang H. Recent advances in the application of metabolomics for food safety control and food quality analyses. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;61(9):1448-1469.
- [38] Lin L, Zheng Q, Lin J, Yuk H-G, Guo L. Immuno – and nucleic acid-based current technique for *Salmonella* detection in food. *Eur Food Res Technol.* 2020; 246:373-395.
- [39] Liu Y, Singh P, Mustapha A. Multiplex high resolution melt-curve real-time PCR assay for reliable detection of *Salmonella*. *Food Control.* 2018; 91:225-230.
- [40] Llandro J, Palfreyman JJ, Ionescu A. Magnetic biosensor technologies for medical applications: a review. *Med Biol Eng Comput.* 2010; 48:977-998.
- [41] Makun HA. Significance, Prevention and Control of Food Related Diseases. 2016, In Tech, Rijeka, Croatia.
- [42] Meng gen MA, Wang HN, Yong YU, Zhang D, Liu SG. Detection of antimicrobial resistance genes of pathogenic *Salmonella* from swine with DNA microarray. *J Vet Diagn Investig.* 2007;19(2):161-167.
- [43] Nawrocka A, Lamorska J. Determination of food quality by using spectroscopic methods. *Adv Agrophy Res.* 2011;347-367.
- [44] Neethirajan S, Ahmed SR, Chand R, Buoziş J, Nagy É. Recent Advances in Biosensor Development for Foodborne Virus Detection. *Nanotheranostics.* 2017;1(3):272-295.
- [45] Özkaya FD, Cömert M. Gıda zehirlenmelerinde etken faktörler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi.* 2008;65(3):149-158.
- [46] Park SH, Aydın M, Khatiwara A, Dolan MC, Gilmore DF, Bouldin JL, Ahn S, Ricke SC. Current and emerging technologies for rapid detection and characterization of *Salmonella* in poultry and poultry products. *Food Microbiol.* 2014; 38:25-262.
- [47] Sedighi-Khavidak S, Mazloum-Ardakani M, Khorasgani MR, Emtiazi G, Hosseinzadeh L. Detection of aflD gene in contaminated pistachio with *Aspergillus flavus* by DNA based electrochemical biosensor, *Int J Food Prop.* 2017; 20(1):119-130
- [48] Shah DK, Maghsoudlou DP. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA): the basics. *Br J Hosp Med.* 2016;77(7):98-101.
- [49] Sharman N, Wallace CA, Jespersen L. Terminology and the understanding of culture, climate, and behavioural change – Impact of organisational and human factors on food safety management, *Trends Food Sci Technol.* 2020;96:13-20.
- [50] Singh G, Koerner T, Gelinat JM, Abbott M, Brady B, Huet AC, Charlier C, Delahaut P, Godefroy SB. Design and characterization of a direct ELISA for the detection and quantification of leucomalachite green. *Food Addit Contam Part A.* 2011;28(6):731-739.
- [51] Thakur MS, Ragavan KV. Biosensors in food processing. *J Food Sci Technol.* 2012;50(4):625-641.
- [52] Váradi L, Luo JL, Hibbs DE, Perry JD, Anderson RJ, Orenge S, Groundwater PW. Methods for the detection and identification of pathogenic bacteria: past, present, and future. *Chem Soc Rev* 2017;17(2):4818-4832.
- [53] Vinayaka AC, Ngo TA, Kant K, Engelsmann P, Dave VP, Shahbazi M-A, Wolff A, Bang DD. Rapid detection of *Salmonella enterica* in food samples by a novel approach with combination of sample concentration and direct PCR. *Biosensors Bioelectron.* 2019; 129:224-230.
- [54] Wang H, Gill VS, Cheng CM, Gonzalezescalona N, Irvin KA, Zheng J, Bell RL, Jacobson AP, Hammack TS. Evaluation and comparison of rapid methods for the detection of *Salmonella* in naturally contaminated pine nuts using different pre-enrichment media. *Food Microbiol.* 2015; 46:58-65.
- [55] Xu HX, Kawamura Y, Li N, Zhao L, Li TM, Li ZY, Shu S, Ezaki TA. Rapid method for determining the G+C content of bacterial chromosomes by monitoring fluorescence intensity during DNA denaturation in a capillary tube. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2000;50(4):1463-1469.
- [56] Zdolec N, Kis M. Meat Safety from Farm to Slaughter—Risk-Based Control of *Yersinia enterocolitica* and *Toxoplasma gondii*. *Processes.* 2021;9(5):815.

How to cite this article: Korkmaz R, Meray G., Gıda Güvenliğinin Önemi ve Bakterilerin Tespiti için Yöntemler. *Journal of Health Sciences and Management* 2023; 2: 47-53. DOI: 10.29228/JOHESAM.24