



Escherichia coli Kaynaklı Gıda Enfeksiyonları^A

Merve GÜNDÜZ^{1*}, Şeniz KARABIYIKLI ÇİÇEK², Ahmet BEKTEŞ³

Öz: *Escherichia coli*, gıda güvenliği ve gıda hijyeninin değerlendirme kriteri olarak kabul görmüş fekal kontaminasyon ve hijyen indikatörü olarak değerlendirilen bir patojendir. Birçok serotipi özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki çocuklarda görülen kronik diyareden ve ölümlerden sorumlu tutulmaktadır. *E. coli* kaynaklı gıda enfeksiyonları incelendiğinde, salgınların büyük çoğunluğuna hayvansal orjinli ürünlerin kaynak teşkil ettiği görülmektedir. Patojen bulaşında rol oynayan başlıca gıdalar, et ve et ürünleri ve çiğ süt veya çiğ süttten elde edilen ürünlerdir. Hayvansal orjinli gıdalara uygulanan yetersiz ısı işlemler enfeksiyonların meydana gelmesi için önemli bir kriterdir. Bunun yanı sıra ıspanak, marul, yonca filizi, karnabahar, tüketime hazır salatalar, un ve unlu mamuller, dondurulmuş gıdalar, yengeç ve karides eti, yumurta, meyve suları, elma şarabı ve restoran yemeklerinin kaynak gösterildiği salgınlar da meydana gelmiştir.

E. coli'nin tanımlanması enfeksiyonların önlenmesi için önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel tanımlama yöntemlerine alternatif olması için hızlı ve güvenilir sonuç üreten sistemlerin kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu derleme çalışmasında, *E. coli*'nin patojenitesi, *E. coli* açısından riskli gıdalar, *E. coli*'nin tanımlanmasında kullanılan bazı yenilikçi yöntemler ve son yıllarda meydana gelen *E. coli* kaynaklı gıda enfeksiyonları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Escherichia coli*, *Escherichia coli*'nin patojenitesi, *Escherichia coli*'nin tanımlanması.

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Bu makaleyi hazırlayan yazarlar, araştırmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Merve GÜNDÜZ, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, mervegunduz.mg@gmail.com, [OrcID 0000-0002-7684-4002](https://orcid.org/0000-0002-7684-4002)

² Şeniz KARABIYIKLI ÇİÇEK, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, seniz.karabiyikli@gop.edu.tr, [OrcID 0000-0001-9287-9400](https://orcid.org/0000-0001-9287-9400)

³ Ahmet BEKTEŞ, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye, ahmetbektes@windowslive.com, [OrcID 0000-0001-9092-7296](https://orcid.org/0000-0001-9092-7296)

Food Infections Caused by *Escherichia coli*

Abstract: *Escherichia coli* is a pathogen that is evaluated as an indicator of fecal contamination and hygiene, which is accepted as an evaluation criterion of food safety and food hygiene. Many serotypes are blamed for chronic diarrhea and deaths, especially in children in developing countries. When food infections caused by *E. coli* are examined, it seems that animal-derived products are the source of most outbreaks. The main foods that play a role in pathogen transmission are meat and meat products and raw milk or products obtained from raw milk. Insufficient heat treatments applied to foods of animal origin are an important criterion for the occurrence of infections. In addition, lettuce, spinach, alfalfa sprouts, ready-to-consume salads, cauliflower, flour and bakery products, frozen foods, crab and shrimp meat, eggs, fruit juices, cider and restaurant meals have been caused to outbreaks.

The identification of *E. coli* is important for the prevention of infections. With the developing technology, it has become common to use systems that produce fast and reliable results to be an alternative to traditional identification methods. In this review, information about the pathogenicity of *E. coli*, foods at risk for *E. coli*, some innovative methods used for the identification of *E. coli*, and food infections caused by *E. coli* that have occurred in recent years has been provided.

Keywords: *Escherichia coli*, Pathogenicity of *Escherichia coli*, Identification of *Escherichia coli*.

Giriş

Amerika Birleşik Devletleri'nde Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC, Centers for Disease Control and Prevention), her yıl 48 milyon kişinin gıda kaynaklı hastalandığını, 128.000 kişinin hastanede tedavi altına alındığını ve 3.000 kişinin gıda kaynaklı hastalıklar sonucunda hayatını kaybettiğini tahmin etmektedir (Glowacki ve ark., 2019). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2010 yılında dünya çapında 600.652.361 hastalık vakası ve 418.608 ölümden gıda kaynaklı patojenlerin sorumlu olduğunu ve ölümlerin 63.000'den *E. coli*'nin sorumlu olduğunu tahmin etmektedir. Sosyo-ekonomik gelişimin az olduğu Afrika ülkeleri gibi yerlerde gıda güvenliği halk sağlığı için önemli bir sorun halindedir ve dünya genelinde gıda kaynaklı hastalıklar ve bu hastalıklar sonucu ölümün en fazla yaşandığı kıta durumundadır. Afrika ülkelerinde 100.000 kişiden ortalama 2.455 kişi gıda kaynaklı patojenler ile enfekte olmaktadır. WHO 2010 yılında dünya çapında yapmış olduğu araştırmada gıda kaynaklı hastalıkların; %26.6'sının *Salmonella spp.*, %11.2'sinin enteropatojenik *E. coli*, %8.6'sının enterotoksijenik *E. coli*, %5.7'sinin *Campylobacter*, %0.08'inin *Listeria monocytogenes* ve %0.004'ünün Shiga-toksin üreten *E. coli* bakterilerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda hastalıklarda *E. coli*'nin önemli bir payı olduğu anlaşılmıştır (Keba ve ark., 2020; Bhardwaj ve ark., 2021).

E. coli ilk olarak Alman mikrobiyolog ve pediatrist olan Theodor Escherich tarafından 1885 yılında ishali süt çocuklarının dışkılarından izole edilmiştir. Enterobacteriaceae familyasının üyesi olan bu bakteri, Gram-negatif, çoğunlukla hareketli, çubuk şeklinde, fakültatif anaerob ve sporsuzdur. Bazı durumlarda kapsül oluşturma yeteneğine sahip olan bu bakterinin optimum üreme sıcaklığının 37 °C, optimum üreme pH'sının 6-7 aralığı olduğu bilinmektedir (Taşdemir, 2009; Bedir, 2016). Fekal kontaminasyon ve hijyen indikatörü olarak değerlendirilebilmektedir. Gıda işletmelerinde, üretim prosesinin güvenilirliği, personel hijyenini ve personel kaynaklı bulaşımın belirlenmesi konusunda oldukça önem arz etmektedir. İnsanların ve hayvanların *E. coli* ile enfekte olmasının sonucunda çok ciddi klinik bulgulara sebep olabilen enfeksiyonlar meydana gelmektedir. İnsanlara genellikle fekal kontaminasyon ve gıdalar aracılığı ile bulaşmakta ve sağlık için tehdit arz etmektedir (Telekoğlu, 2019).

E. coli'nin başlıca bulaşı kaynağı koyun, sığır, geyik, keçi, domuz, kedi, köpek ve kuş gibi hayvanların dışkılarıdır. İnsanlara geçişi; hayvanlara temas edilmesi durumunda hayvandan direkt bulaşı, hayvan dışkısı ile kontamine olmuş gıdalardan ve sulardan bulaşı ve enfekte olmuş kişilerle temas sonucunda olmaktadır (Özyurt, 2011).

***Escherichia coli*'nin Patojenitesi**

E. coli suşlarının çoğu doğal bağırsak florasında apatojen olarak bulunmaktadır ve bağırsak florası için gerekli olan mikroorganizmalardır. Bu suşların, bağışıklık sistemi baskılanmış konaklarda veya bakterinin bağırsak yapısından kaynaklanan koruyucu bariyeri aşması halinde enfeksiyona sebep olduğu bilinmektedir (Değirmenci, 2017). *E. coli*'nin insanlarda gastrointestinal hastalıklara yol açan türleri; klinik sendromlar, patojenite mekanizmaları, O:H serotipleri ve virülans özelliklerine göre 6 grupta sınıflandırılmaktadır. Bu gruplar; Enteropatojenik *E. coli* (EPEC), Enterotoksijenik *E. coli* (ETEC), Enteroinvazif *E. coli* (EIEC), Enterohemorajik *E. coli* (EHEC), Enteroaggregatif *E. coli* (EAEC) veya (EAggEC) ve Diffuz adeziv *E. coli*'dir (DAEC) (Telekoğlu, 2019). Patojen *E. coli* gruplarından EPEC, ETEC ve EIEC'in kaynağı insan olup, bu mikroorganizmalar gıdaya kanalizasyon veya gıda işleyicileri aracılığıyla bulaşırken, EHEC'in bulaş kaynağı süt sığırlarıdır. EHEC gıdalara hayvan dışkısı ve et ve süt ürünlerin elde edilmesi sırasında bulaşmaktadır (Ünlütürk ve Turantaş, 2015).

E. coli'nin enfeksiyonlara sebep olan tanımlanmış ilk patojen grubu EPEC'dir. 1940-1950'li yıllarda ABD'de bebeklerde ölüm oranı %50'ye ulaşan enfeksiyonlara yol açmıştır (Ünlütürk ve Turantaş, 2015). Dünya çapında 5 yaşın altındaki çocuklarda görülen diyarenin en yaygın nedenlerindedir. Sebep olduğu enfeksiyonlar, sulu ve potansiyel olarak ölümcül kronik diyarenin başlıca nedenlerindedir ve sıklıkla ateş, su kaybı ve kusma ile birlikte görülür. EPEC'in karakteristik patolojisi, enfekte bağırsak epitel hücrelerinde yapışan ve silen lezyonlar üretme yeteneğidir. Bağırsak dokusunda mikrovillus kaybına, hücre iskelet yapısında aktin birikimine ve bakteri bağlanma noktasında lezyon oluşumuna neden olmaktadır (Pienaar ve ark., 2019). Virülans özelliklerine dayalı olarak, EPEC iki alt türe ayrılmaktadır, bu türler; tipik EPEC (tEPEC) ve atipik EPEC'dir

(aEPEC). Tipik EPEC, demet oluşturan pilus kodlayan EPEC yapışma faktörü (EAF) plazmidine sahipken, aEPEC’de ne EAF plazmidine ne de demet oluşturan pilus mevcut değildir. Her iki türü de insanlardan sıklıkla izole edilmesine rağmen aEPEC, sıklıkla hayvansal orjinli gıdalardan izole edilmiştir (Almeida ve ark., 2012).

EIEC, insan kolon mukozasının invazyonu üzerine bağırsak hastalığına neden olan bir bakteri grubudur. *Shigella* ile benzer biyokimyasal ve patojenik özellikler göstermektedir. Neden olduğu enfeksiyonlar, abdominal kramplar, bulantı, ateş, kanlı ve mukuslu diyare gibi semptomlara neden olduğundan klinik görüntüsü açısından *Shigella* türünün neden olduğu basilli dizanteriden ayırt etmek mümkün değildir (Michelacci, 2016). EIEC patojenitesi, kolon epitel hücrelere ulaşma ve onları işgal etme kapasitesine dayanmaktadır. Bu durum hücre içi çoğalmaya yol açmakla birlikte bitişik hücrelere yayılır ve sonuç olarak hücre ölümü gerçekleşir (Bona ve ark., 2019). Hastalığın ilerlemesi sonucu, özellikle de çocuklarda hemolitik üremik sendrom (HUS) meydana gelebilmektedir (Taşdemir, 2009).

ETEC, dünya genelinde gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki çocuklarda ciddi bir sağlık sorunudur ve her yıl yaklaşık 3-5 milyon çocuğun ölümünden sorumlu olduğu bilinmektedir. Neden olduğu enfeksiyon, pirinç suyu görünümünde ishal ve su kaybı ile karakterize edilmektedir (Hara-Kudo ve ark., 2020). İyi hijyen şartlarına sahip gelişmiş ülkelere daha düşük hijyen şartlarına sahip gelişmekte olan ılıman ve sıcak iklimli ülkelere seyahat eden yolcularda görülen ve “turist hastalığı” olarak adlandırılan hastalıkların büyük bir kısmından sorumludur. ETEC’in patojenitesinde, ısıya dirençli ve ısıya duyarlı olmak üzere iki tip toksin rol oynamaktadır. Mikroorganizma içerdiği plazmide bağlı olarak bu toksinlerden sadece bir tanesini veya her ikisini de üretebilme yeteneğine sahiptir. Ürettikleri ısıya duyarlı toksin, immünolojik olarak *Vibrio cholerae* toksinine benzer özellikler göstermektedir ve kolera antitoksini ile nötralize edilebilmektedir (Ünlütürk ve Turantaş, 2015).

EHEC, *Shigella* benzeri toksin (shiga like toksin/verotoksin) üretebilen bir gruptur. EHEC’in patojenitesinde, *Shigella* benzeri toksin I ve *Shigella* benzeri toksin II olmak üzere iki tip toksin görev almaktadır. EHEC suşlarının neden olduğu insan enfeksiyonları arasında hemorajik olmayan diyare, hemorajik kolit (HC), trombotik trombositopenik purpura (TTP) ve hemolitik üremik sendrom (HUS) yer almaktadır (Ünlütürk ve Turantaş, 2015). EHEC dünya genelinde insan sağlığı üzerinde ciddi bir risk teşkil etmektedir ve EHEC ile enfekte olan vakalarda artış olduğu bilinmektedir (Ro ve ark., 2015). EHEC’in en yaygın rastlanan ve en önemli serotipi *E. coli* O157:H7’dir. Neden olduğu enfeksiyonların yanı sıra, HC ve HUS’a neden olduğundan halk sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturmaktadır. Bu serotipin ana rezervuarı hayvan bağırsağı olup hayvan dışkıları ile kontamine olmuş sular ve gıdalar enfeksiyonlara kaynak teşkil etmektedir (Khanifar ve ark., 2019). İlk kez 1975 yılında kanlı ishal geçiren Kaliforniyalı bir kadından izole edilmiştir fakat bu yıllarda gıda kaynaklı enfeksiyonlar ile ilişkilendirilmemiştir. Daha sonra 1978-1982 yıllarında Oregon ve Michigan’da yetersiz ısıl işlem görmüş hamburger tüketiminin ardından nükseden kanlı kolite neden olan enfeksiyonlardan sorumlu bulunmasının ardından gıda kaynaklı bir patojen olarak tanımlanmıştır (Dai ve ark., 2021).

ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), “big-six” olarak bilinen altı serogrup tanımlamıştır. Bu suşlar *E. coli* O26, O45, O103, O111, O121 ve O145’dir. Bu altı serogrup, farklı ülkelerde gıda kaynaklı hastalıklarla ilişkilendirilen ve en sık tanımlanan serotiplerdir. ABD’de bu serogruplar her yıl yaklaşık 169.600 kişide gıda kaynaklı hastalığa neden olmaktadır (Alharbi ve ark., 2022). Serogrup *E. coli* O26 hem EPEC hem de STEC

suşlarına sahip olduğu bilinmektedir. İnsanlarda görülen HUS ve HC sendromdan *E. coli* O157:H7'den sonra en çok sorumlu olan serogrup STEC O26'dır. EPEC O26 ise STEC O26'ya kıyasla daha az şiddetli enteritlerden sorumludur (Bielaszewska ve ark., 2005; Carbonari ve ark., 2022). Dünya genelinde STEC O103 serogrubu kaynaklı salgınların meydana geldiği bilinmektedir. Avrupa'da insanlardan izole edilen en yaygın STEC serotiplerinden birisi STEC O103:H2'dir (Sekse ve ark., 2013). Serogrup O111 insanlarda enteropatojenik ve enterohemorajik hastalığa neden olmaktadır (Nataro ve Kaper, 1998). EPEC O111 serogrubu, genel olarak gelişmekte olan ülkelerde bebeklerde ishalin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Shiga-toksin üreten EHEC O111 dünya çapında kanlı ishal ve HUS'un sık görülen nedenlerinden birisidir (Kato ve ark., 2005; qJeon ve ark., 2006). *E. coli* O121 Shiga-toksin üreten bir serogruttur. HC ve HUS'a neden olmakta olan *E. coli* O121 EHEC grubunda yer almaktadır. Enteroinvaziv *Shigella* ve *E. coli* gibi virülans faktörlerine sahip bu serogrullar shigellosis benzeri hastalıklara neden olduğunda bilinmektedir (Hiruta ve ark., 1991). Ana rezervuarı sıcak kanlı hayvanların bağırsak sistemi olan *E. coli* O145 HC ve HUS'a sebep olabilen bir serogruttur (Fratamico ve ark., 2009). EAEC, ilk olarak 1980'li yıllarda tanımlanmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde çocuklarda ve yetişkinlerde görülen akut ve kronik diyare ile ilişkilendirilmektedir (Havt ve ark., 2017). Zamanla dünyadaki gıda sanayinin gelişmesiyle birlikte gıda kaynaklı salgınlarda yer almaya başlamış ve gıda kaynaklı enfeksiyonlar açısından tehdit oluşturmaya başlamıştır. Patojen, kronik iltihaplanmaya ve bağırsak epitelinde hasara neden olarak bebeklerde yetersiz beslenmeye neden olmaktadır (Vergis ve ark., 2018). EAEC enterotoksin ve sitotoksin üretebilmektedir. Rutin dışkı kültürü ile teşhis, moleküler veya diğer gelişmiş yöntemlerle tanımlanmaktadır.

DAEC, Hep-2 ya da HeLa hücre kültürlerine diffuz adherenz özelliklerinden dolayı bu adla anılır. Birçok serotipi 1-5 yaşındaki çocuklarda kalıcı diyareye sebep olur. DAEC patojenitesinde, epitel hücrelerine yönlendiren Bozulma Hızlandırma Faktörü aracılığıyla epitel hücrelerinin fırça kenarlarına bağlanmasında ve bağlandıktan sonra mikrovillinin sitoiskelet yapılarını yeniden düzenlemelerinde veya yok etmelerinde rol oynar. Mikrovillusun yeniden düzenlenmesi veya kaybı ile hücrelerde meydana gelen değişiklikler kronik diyareye neden olur (Govindarajan ve ark., 2020). Çocuklarda görülen inatçı diyarenin ana nedenleri arasında gösterilmektedir (Taşdemir, 2009).

***Escherichia coli* Açısından Riskli Gıdalar**

Gıdalara *E. coli* bulaşısı; ürünün yetiştirildiği toprak ve sulama suyundan, hayvanların ve insanların bağırsak sistemlerinden, hayvan derileri ve postlarından, üretimde görev alan personelden, alet ekipman kullanımından, ambalaj materyalinden, işletme sanitasyonu yetersizliğinden ve depolama koşullarından olmaktadır. Ayrıca gıda işleme sırasında yetersiz ısı işlem uygulanması da bulaş için önemli bir kriterdir (Özkaya ve Cömert, 2008).

Enfeksiyonların en önemli nedenleri arasında gösterilen hayvansal kökenli gıdaların başında yetersiz ısı işlem uygulanmış et ürünleri ve çiğ veya yetersiz ısı işlem maruz bırakılmış süt ve süt ürünleri gelmektedir. Gıda kaynaklı salgınların incelenmesi sonucunda soğuk sandviçlerin, tüketime hazır sunulan salataların, yonca filizlerinin, ısı işlem uygulanmamış meyve sularının, yeşil yapraklı sebzelerin (lahana, marul, karnabahar

ıspanak), bazı deniz ürünlerinin ve unlu mamullerin neden olduğu belirlenmiştir. Bu gıdaların dışında ısıtma işlemi uygulanmış ve/veya kürlenmiş salam, soslu sandviç, ısıtma işlemi uygulanmış ve/veya fermente sucuk, dana rosto, çiğ süttten yapılan peynirler, mayonez, yoğurt, elma şarabı, yabani yer fıstığı ve pişmiş mısır gibi çeşitli gıdalar salgınlara kaynak olarak gösterilmiştir. (Temelli, 2002). Tüketime sunulan hazır toz çorbaların da *E. coli* açısından risk teşkil ettiği bilinmektedir (Çoksaygılı ve Başoğlu, 2010).

Önceden pişirilmiş soğuk domuz eti, klorlanmamış kuyu suyu ve etli böreğin EPEC'nin neden olduğu salgınlara, peynir, kontamine su ve patates salatasının EIEC'nin neden olduğu salgınlara ve çiğ sebzelerin ve peynirin ETEC'nin neden olduğu salgınlara kaynak teşkil ettiği bilinmektedir (Ünlütürk ve Turantaş, 2015).

Son yıllarda, çiğ veya yetersiz düzeyde işlenmiş meyve ve sebzelerin tüketimiyle ilgili *E. coli* O157: H7 kaynaklı gıda enfeksiyonlarında bir artış olmuştur. Patojenin meyve ve sebzelere bulaşmasının ana sebebi sulama işleminin kontamine olmuş su ile yapılmasıdır. Bunun yanı sıra ürünlere hayvanlardan ve topraktan direkt bulaş ve hasat, nakliye ve depolama sırasında çapraz bulaş da olmaktadır. Sebze ve meyvelerin yüzeylerine flegallaları vasıtasıyla tutunan mikroorganizmalar burada büyüyerek çoğalabilmektedirler. Bu nedenle yeteri kadar temizlenmemiş sebzeler ve ısıtma işlemi uygulanmadan taze tüketilen meyve suları *E. coli* O157:H7 kaynaklı gıda enfeksiyonları açısından tehdit oluşturmaktadır (Dai ve ark., 2021).

İspanak ve marul gibi taze olarak tüketilen ürünler *E. coli* kaynaklı gıda enfeksiyonları ile ilişkilendirilmektedir. Tarlada veya hasat sonrasında bulaşının olduğu ürünler birçok salgına kaynak gösterilmiştir. Tüketime sunulan sebze kitlerinin hazırlanmasında, klor veya perasetik asit ile muamele edilmemiş yıkama sularının kullanımından dolayı yeteri kadar dezenfeksiyon işlemi yapılmamaktadır ve yeşil yapraklı sebzeler enfeksiyonlara neden olmaktadır (Gu ve ark., 2020).

Et işletmelerinde; derinin yüzülmesi, iç organların çıkartılması, alet ekipman ve kesim personeli kaynaklı karkas et kontamine olmaktadır. Etin işlenmesi sırasında et yüzeyine nüfuz eden mikroorganizma, yetersiz ısıtma işlemi uygulanması durumunda enfeksiyonlara neden olmaktadır. Enfeksiyonların önüne geçilmesi amacıyla hijyen ve sanitasyon kurallarına dikkat edilmelidir. Kesim sonrası mümkün olan en kısa süre içerisinde et sıcaklığı 5°C'nin altına düşürülmeli ve depolama boyunca sıcaklık sabit tutulmalıdır (Temelli, 2002). Birçok enfeksiyona, yetersiz ısıtma işlemi görmüş dana kıyması, bizon eti ve köfte kaynak gösterilmiştir.

Süt, zengin besin içeriğinden dolayı mikrobiyal gelişme için uygun bir gıda maddesidir. Sağım, taşıma ve depolama koşulları ürün kalitesi, raf ömrü ve mikrobiyal güvenliği etkilemektedir. Sağım sırasında memeden, alet ekipmandan ve personelden çapraz kontaminasyonlar meydana gelmektedir (Temelli, 2002; Keba ve ark., 2020). İyi üretim uygulamaları ve ısıtma işlemi uygulamaları ile gıda güvenliği sağlanmaktadır (Fox ve ark., 2018).

***Escherichia coli*'nin Tespit Edilmesinde Kullanılan Bazı Yenilikçi Yöntemler**

Gıda kaynaklı patojenlerin tespitine yönelik geleneksel yöntemler arasında kültür bazlı tespit prosedürleri, immünoanalizler ve nükleik asit bazlı moleküler yaklaşımlar yer almaktadır. Geleneksel yöntemlerin kullanımı, yüksek maliyeti, uzun prosedürler ve yetkin operatörlerin gerekliliği gibi birtakım dezavantajlara sahip olması

nedeniyle gün geçtikçe azalmaktadır (Li ve ark., 2016). Geleneksel yöntemlerin dezavantajlarının üstesinden gelmek amacıyla yenilikçi teknolojiler geliştirilmiştir. *E. coli*'nin tespit edilmesinde kullanılan yenilikçi teknolojilere; izotermal amplifikasyon, biyosensör, Raman spektrofotometrisi, kâğıt tabanlı analitik cihazlar ve akıllı telefon tabanlı dijital yöntemler örnek verilebilmektedir (Rani ve ark., 2021). Bu derleme çalışmasında, izotermal amplifikasyon, yüzey geliştirilmiş Raman spektroskopisi ve biyosensörler detaylı olarak incelenmiştir.

İzotermal DNA Amplifikasyonu

Patojenlerin tespiti için DNA amplifikasyonuna dayalı teknikler uygulanmaktadır. İzotermal DNA amplifikasyon yöntemlerinde DNA, bir termal döngüleyici kullanılarak ısıl işlemle denatürasyon yerine enzimatik denatürasyonla amplifiye edilmektedir. Bu amplifikasyon yöntemleri için özel bir alet gerekmemektedir. Primer tavlama ve uzatma için sabit sıcaklığı tutabilen bir cihaz amplifikasyon işlemi için yeterlidir. Son yıllarda geliştirilen birçok amplifikasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında izotermal döngü aracılı amplifikasyon (LAMP) ve rekombinaz polimeraz amplifikasyonu (RPA) genellikle diğerlerine göre daha yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Rani ve ark., 2019). LAMP, sabit sıcaklıklarda iki inkübasyon kullanarak hedef DNA'yı amplifiye etmek için basit ve spesifik bir yöntemdir; ilk olarak 65 °C'de 1 saat, ardından 80 °C'de 10 dakika süreyle başka bir inkübasyon işlemi ardından amplifikasyon prosesinin durdurulması gerekmektedir (Notomi ve ark., 2000). Saf kültürde tespit sınırı 1.22×10^2 kob mL⁻¹ olan LAMP yöntemine, düzenli aralıklı kısa palindromik tekrarlar (CRISPR) tabanlı bir tespit yöntemi entegre edilerek mevcut teknoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, *E. coli* O157:H7'nin tespiti için LAMP-CRISPR/Cas12a sistemini temel alan hızlı, hassas ve görselleştirilmiş bir yöntem olmakla birlikte LAMP yönteminin sebep olduğu hataların da düzelmesine katkı sağlamıştır. LAMP-CRISPR/Cas12a sistemine dayanan filtreleme, marulda 70 dakika içinde 4.80 kob g⁻¹ *E. coli* O157:H7'yi başarıyla tespit etmektedir ve böylelikle gerçek zamanlı PCR'den 10 kat daha duyarlı sonuç vermektedir (Lee ve Oh, 2022). Sığır etinde yaşayan ancak kültürlenemeyen *E. coli* O157: H7'nin tespiti ve miktarının belirlenmesi için geliştirilmiş propidium monoazid (PMAxx) tedavisini gerçek zamanlı döngü aracılı izotermal amplifikasyon (qLAMP) ile birleştiren bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen PMAxx-qLAMP tahlili, hem saf kültürde hem de sığır etinde yüksek hassasiyet ve 60 dk gibi kısa bir sürede hızlı sonuç vermesi açısından dikkat çekici bir performans sergilemektedir. Özellikle dondurulmuş sığır eti örnekleri için PMAxx-qLAMP yöntemiyle $2.04 \pm 0,08$ Log₁₀ kobg⁻¹ *E. coli* O157: H7 varlığı tespit edilmiştir (Lv ve ark., 2020). PMAxx-qLAMP yöntemiyle *E. coli* O157: H7'nin tanımlanmasında etkin rol oynayan *rfbE* genini daha da güçlendirmek için immünomanyetik ayırma teknolojisi entegre edilmiştir ve maruldaki canlı *E. coli* O157: H7 varlığı nükleik asit yanal akış şeridi (NALFS) yöntemiyle tespit edilebilmiştir. İmmünomanyetik ayırma teknolojisi *E. coli* O157: H7'nin gıda matrisinin etkileşimini etkili bir şekilde ortadan kaldırarak tespit sınırına ulaşmasını teşvik etmiştir. PMAxx tedavisi ölü bakterilerden gelen yanlış pozitif sonuçları ortadan kaldırmakta ve LAMP-NALFS ile birlikte canlı *E. coli* O157: H7'nin doğru bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. IMS-PMAxx-LAMP-NALFS yöntemi, herhangi bir ağır ve maliyetli cihaza ihtiyaç duymadan, *E. coli* O157: H7 ile kontamine edilmiş marul numunelerinde 2 saat içinde canlı mikroorganizma varlığını 81 kob g⁻¹ kadar düşük konsantrasyonlarda bile tespit edebilmektedir (Wen ve ark., 2022).

RPA yönteminde, 5-30 dk boyunca 37-42°C arasında sabit bir sıcaklık kullanılarak, DNA inkübasyon boyunca güçlendirilmektedir. Bu nedenle RPA, sabit bir sıcaklık uygulamak için yalnızca bir su banyosu, ısı bloğu, inkübatör ve hatta vücut ısısına ihtiyaç duymaktadır. Laboratuvar bazlı tanımlama, jel elektroforezi ile yapılabilmektedir. Bununla birlikte, floresan tespiti, reaksiyonun bulanıklığını gözlemleyerek görsel okuma veya yanal akış (LF) cihazlarıyla entegrasyon kullanılarak saha içi tespit mümkündür (Piepenburg ve ark., 2006). *E. coli* O157 varlığı tespit etmek için bir izotermal gerçek zamanlı rekombinaz polimeraz amplifikasyonu (gerçek zamanlı RPA) tayini ve yanal akış şeridi (LFS-RPA) ile birleştirilmiş bir RPA geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı RPA, 39 °C sabit sıcaklıkta 20 dakika boyunca tanımlamayı gerçekleştirirken, LFS-RPA, 39 °C'de bir inkübatör bloğunda 15 dakika boyunca gerçekleştirmiştir. *E. coli* O157 DNA'sının veya LFS-RPA kullanılarak saf kültürün tespit sınırı sırasıyla 3.5×10^2 fg μL^{-1} ve/veya 1.0×10^2 kob mL^{-1} olarak belirlenmiş ve geliştirilen yöntemin gerçek zamanlı PCR'den 10 kat daha yüksek verim ürettiği gözlemlenmiştir (Zhao ve ark., 2022).

Propidyum monoazid-döngü aracılı izotermal amplifikasyon (PMA-LAMP) testi ile *E. coli* O26:H11, *E. coli* O103:H2, *E. coli* O111:H hareketsiz, *E. coli* O121:H19 ve *E. coli* O145:H hareketsiz'in saf kültürlerinin tespit limitleri sırasıyla 9.70×10^1 kob mL^{-1} , 1.16×10^2 kob mL^{-1} , 9.60×10^1 kob mL^{-1} , 1.33×10^2 kob mL^{-1} , ve 1.34×10^1 kob mL^{-1} olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar *E. coli*'nin 5 farklı sero grubunun PMA-LAMP yöntemi ile tespit edilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir (Han, 2019).

Yüzeysel geliştirilmiş Raman Spektroskopisi (SERS)

Yüzeysel geliştirilmiş Raman spektroskopisi (SERS), yüzeysel plazmon rezonansı prensibiyle çalışan, patojen teşhisi alanında yeni ortaya çıkan bir teknolojidir. Metalik nanopartikülün yüzeyindeki bir elektronun plazmon modifikasyonu ve tutarlı salınımı, yüksek elektromanyetik ve kimyasal sinyaller üretmekte bu da Raman saçılımının artmasına neden olmakta ve bu tekniği hassas ve seçici kılmaktadır. SERS raportör moleküllerinin nanopartiküllerin yüzeyine entegrasyonu tespit süresini azaltmakta ve sinyal yoğunluğunu arttırmaktadır. Yöntemin sahip olduğu bu avantajlar, gıda ve suda *E. coli* O157:H7 varlığının tespiti için yüksek verim üretmesine katkı sağlamaktadır. Yöntem çok hassastır ve tek bir molekülü tespit etme kapasitesine sahiptir (Zhou ve ark., 2020). Gümüş kaplı nano gözenekli silikon substratlar kullanılarak sütteki *E. coli* varlığının tespitinde 3 kob mL^{-1} düzeyinde yüksek hassasiyet ve $10^1 - 10^5$ kob mL^{-1} tespit aralığında yanıt elde edilmiştir (Muthukumar ve Shtenberg, 2023). Altın nanoparçacık bazlı SERS aptasensörünün, *E. coli* O157:H7 varlığının tayin edilmesinde düşük bir tespit limiti 0.3 kob mL^{-1} ve tespit aralığı $10^2 - 10^7$ kob mL^{-1} olacak şekilde sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Tian ve ark., 2023). SERS bazlı yanal akış tahlili (SERS-LFA) şeritleri *E. coli* O157:H7'nin tespit edilmesinde uygulanmaktadır. SERS-LFA şeritlerinin test çizgisinde 1335 cm^{-1} 'deki Raman sinyal yoğunluğu, $10^1 - 10^9$ koloni oluşturan birim kob mL^{-1} aralığında geniş bir aralıkta tespit sağlayabilmektedir (Yan ve ark., 2020). $\text{Fe}_3\text{O}_4@Au$ kompozitinin aracılık ettiği yüzeysel destekli Raman spektroskopisi (SERS) ve manyetik ayırma teknolojisi ile enteropatojenik EPEC O26:K60'ın tespiti için altın varak kağıdı bazlı bir aptasensör geliştirilmiş ve tespit limitinin 2.86 kob mL^{-1} ve $10^1 - 10^7$ kob mL^{-1} gibi geniş bir tespit aralığına sahip olduğu belirlenmiştir (Zhu ve ark., 2021).

Biyosensörler

Biyosensörler, antikorlar, aptamerler, oligonükleotidler, fajlar, lektinler ve enzimler gibi hareketsizleştirilmiş bir biyolojik tanıma reseptörü kullanarak spesifik hedef analitleri niteliksel veya niceliksel olarak tespit eden analitik cihazlardır. Biyosensörler tanıma elemanına veya sinyal iletim tipine göre sınıflandırılabilir. Analit ile tanıma elemanı arasındaki etkileşimden kaynaklanan fiziksel, biyolojik veya kimyasal değişiklikler amperometrik, piezoelektrik, optometrik, impedimetrik, potansiyometrik veya voltametrik vb. olabilen bir dönüştürücü kullanılarak elektronik sinyallere dönüştürülebilmektedir. Biyosensörlerin avantajları; hassas, çevre dostu, sağlam, küçük boyutlu, düşük maliyetli ve çoklu hedef tespitine uyumlu olmasıdır. Antikorlar, hedef analite karşı yüksek afiniteleri ve spesifiteleri nedeniyle biyoreseptörler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte birçok araştırmacı, lektinler, oligonükleotid ve aptamerler gibi biyoreseptörlerin kullanımını bildirmiştir (Rani ve ark., 2019). Lektinler, serbest veya konjuge karbonhidrat kalıntılarıyla spesifik etkileşim özelliklerinden dolayı yüksek derecede hassas ve seçici biyosensörlerin geliştirilmesi için ilgi çekici biyolojik tanıma molekülleridir (Simão ve ark., 2020). Çeşitli organizmaların hücre duvarı yüzeyini, sitoplazmasını ve nükleer yapılarını oluşturan spesifik karbonhidratlarla bağlantı kurabilme yeteneğine de sahiptirler (Sá ve ark., 2020). İnsan serolojik numunelerinde virüs tespitinde kullanım potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir (Simão ve ark., 2020).

Aptamerler, belirli ligandlara yüksek afiniteyle bağlanan ve belirli bir hedef moleküle karşı yüksek özgüllükle kolayca sentezlenebilen, DNA veya RNA moleküllerinin 30-100 nükleotidlik yapay oligonükleotid dizileridir. Antikorlarla karşılaştırılabilir bağlanma afinitesi ve özgüllüğü gösterirler ve kimyasal üretimde daha iyi tekrarlanabilirlik, geniş bir pH aralığında stabilite, biyoaktivitelerini kaybetmeden zorlu ortamlarda direnç, küçük boyut ve düşük üretim maliyeti gibi önemli avantajlara sahiptirler (Brosel-Oliu ve ark., 2018).

Elektrokimyasal biyosensörler biyotanıma reaksiyonu yoluyla tespit edilen elektrokimyasal değişikliklerin doğasına göre empedans, amperometrik, kondüktometrik ve potansiyometrik olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır (Razmi ve ark., 2020). *E. coli* O157:H7'yi yüksek hassasiyet, kısa zaman ve verimlilik ile tespit etmek amacıyla sinyal amplifikasyonu için yeni türde serigrafi baskılı interdigitated mikroelektrotlar (SPIM'ler) ve buğday tohumu aglütinin (WGA) kullanan bir empedans biyosensörü önerilmektedir. WGA, bakteri yüzeyinde bol miktardaki lektin bağlama alanlarından yararlanarak sinyali geliştirmektedir. İmmüno-sensör, 10^2 - 10^7 kob⁻¹ mL arasında doğrusal bir tespit aralığı ile 10^2 kob mL⁻¹ 'lik bir tespit limiti sergilemektedir (Li ve ark., 2015). *E. coli*'ye özgü aptamer ile modifiye edilmiş impedimetrik aptasensör, empedans değişiklikleri ile *E. coli* konsantrasyonunun logaritması arasında 10^1 ile 10^5 kob mL⁻¹ bir tespit aralığında ve 2.9×10^2 kobmL⁻¹ tespit sınırında sonuç vermektedir (Brosel-Oliu ve ark., 2018).

E. coli O157:H7'nin doğru tespiti için 3D DNA yürüteç, yuvarlanan daire amplifikasyonu (RCA) ve hibridizasyon zincir reaksiyonu (HCR) yoluyla çoklu amplifikasyon stratejisine dayalı olarak ultra duyarlı bir elektrokimyasal biyosensör geliştirilmiştir ve 7 kob mL⁻¹ 'lik tespit limitiyle yüksek hassasiyetli voltametrik tabanlı bir biyosensör geliştirilmiştir (Li ve ark., 2020). *E. coli* O157:H7 için Py, pirol/altın nanopartikülleri/çok duvarlı karbon nanotüp/kitosan (PPy/AuNP/MWCNT/Chi) hibrit nanobiyokompozitle modifiye edilmiş kalem grafit elektrodu (PGE) temel alan son derece hassas bir sandviç modellelektrokimyasal immüno-sensör geliştirilmiştir.

Geliştirilen biyosensörün, $3 \times 10^1 - 3 \times 10^7$ kob mL⁻¹ aralığında tespit sınırına sahip olan amperometrik tabanlı biyosensör olduğu belirlenmiştir (Güner ve ark., 2017).

Yüzey plazmon rezonansı immünosensörü (SPR-immünosensör,) bağışıklık sensörüne sahip tek bir sensör çipi kullanarak Shiga-toksin üreten *E. coli* sergogruplarını olan *E. coli* O26, O91, O103, O111, O115, O121, O128, O145, O157 ve O159'u tespit etmek için geliştirilmiştir. Tavşanlarda her bir STEC O-antijen tipine karşı üretilen poliklonal antikolar (PoAb'ler) saflaştırıldı ve sensör çipi üzerinde 0,5 mg/mL'de immobilize edilmiştir. *E. coli* O157:H7 için SPR-immünosensör tarafından tespit limiti 6.3×10^4 kob mL⁻¹ olarak belirlenmiş ve tespit işlemi sadece 75 saniye sürmüştür (Yamasak ve ark., 2016).

Son Yıllarda Görülen *Escherichia coli* Kaynaklı Gıda Enfeksiyonları

2018 yılında Yuma bölgesinde yetiştirilen Roman marullarının tüketilmesi ile *E. coli* O157:H7 kaynaklı gıda enfeksiyonu meydana gelmiştir. Salgın kapsamında 32 eyaletten 172 kişi enfekte olmuştur. 77 kişinin hastanede tedavi altına alındığı salgında 20 vakada HUS meydana gelmiş ve 1 kişi *E. coli* O157:H7 kaynaklı gıda enfeksiyonu nedeniyle yaşamını yitirmiştir (FDA, 2018).

22 Şubat- 30 Nisan 2019 arasında aynı tesiste üretilen bizon kıyması ve bizon köftelerini tüketen ABD'nin 8 eyaletinden 33 kişide *E. coli* O121 ve *E. coli* O103 suşları kaynaklı enfeksiyon meydana gelmiştir. Salgından etkilenen 18 vaka hastanede tedavi altına alınmış ve ölüm bildirilmemiştir (FDA, 2019a).

ABD'nin 9 eyaletinde aynı unu kullanan farklı firmaların ürettikleri ekmek, kurabiye ve brownie tüketimi sonucunda 21 kişi *E. coli* O26 suşu ile enfekte olmuştur. Salgının yayılması sonucunda aynı unu kullanan farklı markalar ürünlerini geri çağırmıştır (FDA, 2019b).

15 Mart 2020 tarihinde Amerika Bileşik Devletleri'nde Utah ve Illinois eyaletleri başta olmak üzere 10 eyalette meydana gelen *E. coli* O103 kaynaklı salgından 51 kişi etkilenmiştir. Vakaların 3 tanesi hastanede tedavi altına alınmış ve tüm vakaların geçmişe dönük yiyecek öyküsü incelendiğinde ortak tüketilen gıdanın yonca filizi olduğu anlaşılmıştır (FDA, 2020a).

Salinas ve California bölgesinde yetiştirilen marullar ile hazırlanan salataların tüketilmesi sonucunda *E. coli* O157:H7 kaynaklı gıda enfeksiyonu meydana gelmiştir. 5 Kasım 2019 ile 15 Kasım 2019 arasında değişen tarihlerde başlayan enfeksiyonlardan 8 kişi etkilenmiş ve hiçbir HUS ve ölüm vakası meydana gelmemiştir (FDA, 2020b).

26 Şubat 2021 ile 21 Haziran 2021 tarihleri arasında ABD'nin 12 eyaletinden 16 kişinin *E. coli* O121 suşu ile enfekte olduğu bildirilmiştir. Vakaların geçmişe dönük gıda öyküsü incelendiğinde 6 vakanın çığ kek hamurunu tükettiği ve böylelikle enfekte olduğu anlaşılmıştır (FDA, 2021).

ABD'de Ekim 2020 – Aralık 2020 tarihleri arasında, 19 eyalette eş zamanlı görülen *E. coli* O157:H7 enfeksiyonu meydana gelmiştir. Salgın kapsamında, 40 kişinin enfekte olduğu ve bunlardan 20 tanesinin hastanede tedavi altına alındığı bildirilmiştir. Tedavi altına alınan vakalardan 4 tanesinde HUS meydana gelmiş

ve herhangi bir can kaybı meydana gelmemiştir. Yapılan çalışmalar kontamine olmuş yeşil yapraklı bitkilerinin tüketiminin salgına neden olduğunu göstermektedir (FDA, 2022a).

15 Ekim ile 27 Ekim 2021 arasında değişen tarihlerde ABD'nin 10 eyaletinde bebek ıspanak tüketimi ile ilişkilendirilen *E. coli* O157:H7 salgını meydana gelmiştir. Salgından 15 kişi etkilenmiş ve bunlardan 4 tanesi hastanede tedavi altına alınmıştır (FDA, 2022b).

4 Nisan 2024 tarihinde ABD'nin Washington ve Kaliforniya eyaletinde organik ceviz kaynaklı *E. coli* O157:H7 enfeksiyonuna bağlı bir salgın meydana gelmiştir. Salgından 12 kişi etkilenmiş ve vakaların 7 tanesi hastanede tedavi altına alınmıştır. Salgına neden olan organik cevizlerin geri çağrılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (FDA, 2024a).

18 Ekim 2023 ile 5 Şubat 2024 arasında değişen tarihlerde ABD'de 5 eyalette *E. coli* O157:H7 kaynaklı gıda enfeksiyonu meydana gelmiştir. Salgından 11 kişi etkilenmiş ve hastanede tedavi altına alınan 5 hastadan 2 tanesinde HUS meydana gelmiştir. Vakaların geçmişe dönük gıda öyküleri araştırıldığında aynı markaya ait çiğ çedar peynirini tükettikleri anlaşılmıştır (FDA, 2024b).

Birleşik Krallık'ta 22 Mayıs 2023 ile 4 Temmuz 2023 arasında değişen tarihlerde STEC O183:H18'in neden olduğu ciddi bir gastrointestinal semptom salgını tespit edilmiştir. Salgın kapsamında yaşları 6 ay ile 74 yaş arasında değişen 26 vaka tespit edilmiştir. Salgına sebep olan gıda tam olarak tespit edilemese de, vakaların %50'sinden fazlasının pişmiş tavuk (%68), pişmiş sığır eti (%55), pastörize süt (%68) ve sert peynirler (%77) tükettiği bilinmektedir. Salgın sırasında 1 kişide HUS meydana gelirken 1 kişi de STEC O183:H18'in neden olduğu salgın nedeniyle yaşamını yitirmiştir (Greig ve ark., 2024).

Danimarka'da 6-10 Aralık 2021 tarihleri arasında meydana gelen gıda kaynaklı bir salgında 88 vaka tespit edilmiştir. Salgından etkilenen 42 vaka ile görüşülmüş ve 14 vakanın *E. coli* O136:H7, 10 vakanın *E. coli* O96:H19 ve 18 vakanın *Shigella*/EIEC ile enfekte olduğu belirlenmiştir. Görüşülen hastaların geçmişe dönük tükettikleri gıdalar incelendiğinde vakaların çoğunluğusalatalık, domates, elma, havuç, yeşil salata gibi sebzelerin tüketildiğini bildirmiştir. 42 vakanın 27'si taze lahanalı hazır salata tükettiğini ve 27 vakadan 20'si aynı market zincirini kullandığını ifade etmiştir. Hazır salatanın içerisinde yer alan ithal soğanın salgına sebep olan patojenin bulaş kaynağı olduğu belirlenmiştir (Torpdah ve ark., 2023).

Hindistan'da Haziran 2014 – Haziran 2015 tarihleri arasında, Delhi şehrindeki 1800 yataklı bir hastanenin Mikrobiyoloji ve Pediatri Bölümü'ne akut diyare ve yüksek ateş şikâyeti ile başvuran 0-5 yaş arası 200 çocuk üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Araştırma kapsamında çocuklardan alınan dışkı örnekleri incelenmiştir. Örneklerin incelenmesi sırasında *E. coli*'nin tanımlanması için klasik tanımlama testleri ve PCR testleri kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, örneklerin %9.5'inde EPEC %6.5'inde atipik EPEC (aEPEC) ve %2.5'inde tipik EPEC (tEPEC) gözlemlenmiştir. *E. coli*'nin olası birçok bulaş kaynağı incelenmiş ve içme sularının bulaşta önemli bir kaynak olduğu anlaşılmıştır. 19 vakanın sonuçları göz önüne alındığında 14 vakada aEPEC enfeksiyonu, 5 vakada tEPEC enfeksiyonu olduğu anlaşılmıştır. 14 aEPEC vakasının 12'sinin bulaş kaynağının kuyu suları ve 2 vakanın kaynağının borulu sistemle evlere taşınan sular olduğu tespit edilmiştir. 4 tEPEC vakasında ise 3 vakanın bulaş kaynağının kuyu suyu sadece 1 vakanın kaynağının borulu sistemlere

taşınan sular olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda bölgede bulunan kuyu sularının ve kaynak sularının gıda güvenliği açısından ciddi bir risk etmeni olduğu anlaşılmıştır (Sneha ve ark., 2020).

İtalya'da EIEC'in neden olduğu gıda kaynaklı bir enfeksiyon meydana gelmiştir. Milano İtfaiye Teşkilatı personeli 10 - 17 Nisan 2012 tarihleri arasında kantinde yemek yedikten sonra şiddetli diyare şikâyeti ile hastaneye başvurmuşlardır. Toplam 109 vakanın tespit edildiği salgında 32 vaka hastanede tedavi altına alınmıştır. Sorumlu gıda maddesinin bulunması için semptom gösteren 83 vaka ve herhangi bir semptomu olmayan 32 kişi (kontrol grubu) üzerinden araştırma başlatılmış ve pişmiş sebzelerin salgın üzerinde büyük bir etken olduğu anlaşılmıştır. 62 vakanın dışkı örneklerinden PCR testi yapılmış ve 6 vakada EIEC O96: H19 suşu tespit edilmiştir (Escher ve ark., 2014).

Kore'nin Incheon kentinde ETEC O169 kaynaklı gıda enfeksiyonu meydana gelmiştir. 3-7 Eylül 2012 tarihleri arasında başlayan salgınlarda yedi okuldan toplam 1642 enfekte öğrenci tespit edilmiştir. Öğrencilerin okul kantininde yemek yedikten sonra semptomlarının başladığı gözlemlenmiştir. Öğrencilerin tükettikleri gıda maddelerinin araştırılması sonucunda beş okulun öğrencilerinin ağırlıklı olarak turplu veya lahanalı kimchi ve iki okulun öğrencilerinin ise turplu kimchi tükettikleri anlaşılmıştır. Geriye dönük araştırmalar sonucu salgınlar turplu kimchi ile ilişkilendirilmiştir (Cho ve ark., 2013).

Japonya'nın Yamagata eyaletinde, Mayıs 2011'de meydana gelen bir salgına *E. coli* O157 suşunun neden olduğu anlaşılmıştır. Salgın kapsamında 142 doğrulanmış vaka ve 136 şüpheli vaka tespit edilmiştir. Vakaların tükettikleri gıdaların araştırılması sonucunda ortak gıda maddesinin 2-7 Mayıs tarihleri arasında üretilen iki çeşit pirinç keki olduğu anlaşılmıştır (Nabae ve ark., 2012).

2011 yılında İngiltere'nin Plymouth kentinde meydana gelen bir salgında sorumlu serotipin *E. coli* O157 olduğu anlaşılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda hastalıkların 30 Temmuz ile 15 Ağustos 2011 tarihlerinde başladığı belirlenmiştir. Salgının kaynağını araştırmak üzere hastalanan 9 kişi ile görüşülmüştür. Görüşülen 8 vaka, yerel yönetime kaydı olmayan bir yengeç satıcısından temin ettikleri yengeçleri ve 1 vaka ise aynı satıcıdan temin ettiği karidesi tükettiklerini bildirmiştir (Matulkova ve ark., 2013).

Norveç'te hizmet veren bir otelde 4-9 Aralık 2012 tarihleri arasında meydana gelen bir salgında otelde konaklayan 300'den fazla kişinin semptom gösterdiği belirlenmiştir. Salgının olası kaynağının belirlenmesi için 241 olası vaka ile görüşülmüştür. Görüşmeler sonucunda çırpılmış yumurtanın salgının olası kaynağı olduğu ve soğuk yemeklerin bulunduğu açık büfenin kontaminasyon kaynağı olabileceği anlaşılmıştır. Hastaneye başvuran vakalar içerisinde 40 vakanın ETEC ile enfekte olduğu anlaşılmıştır (Macdonald ve ark., 2014).

İngiltere'de 2015 yılında meydana gelen *E. coli* O157:H7 salgını kapsamında 36 vaka tespit edilmiştir. Hastalıklar 29 Temmuz ile 30 Eylül 2015 arasında değişen tarihlerde başlamıştır. Salgın kaynaklı hiçbir HUS veya ölüm bildirilmemiştir. Hastalığın kaynağının belirlenmesi için vakalarla yapılan görüşmeler sonucunda salgının kaynağının kontamine salatalar olduğu anlaşılmıştır (Sinclair ve ark., 2016).

11 Eylül 2015 ile 17 Ekim 2015 arasında İskoçya'da meydana gelen gıda kaynaklı enfeksiyon vakalarından sorumlu patojenin *E. coli* Phage Type 32 olduğu anlaşılmıştır. Referans laboratuvarları ve sağlık yöneticileri 12 vaka tespit etmişlerdir. Kapsamlı gıda geçmişi araştırmaları sonucunda salgının en olası kaynağının tek bir gıda

işletmecisi tarafından üretilen yabani geyik eti içeren ürünler olduğu belirlenmiştir. Görüşülen 9 vaka geyik eti ürünlerinden yemiştir ve 1 vaka da geyik eti ürünlerinden yememesine rağmen ürünleri hazırlayıp pişirmiştir (Smith-Palmer ve ark., 2018).

Kuzey Fransa'da 6 Haziran ile 15 Temmuz 2011 tarihleri arasında gıda kaynaklı bir salgın meydana gelmiştir. Salgına neden olan bakterinin *E. coli* O157:H7 olduğu ve kıyma tüketimiyle ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Salgında 18 HUS vakası tespit edilmiştir. Salgın kapsamında incelenen 14 vaka semptom başlangıcından bir hafta önce dondurulmuş kıyma ürünlerini tükettiğini bildirmiş, 11 vaka ise süpermarket zincirinden alınan bir markaya ait çeşitli köfteleri tüketmiştir (King ve ark., 2014).

Mayıs 2011 tarihinde Almanya'da meydana gelen bir salgında *E. coli* O104:H4 serotipinin sorumlu olduğu bildirilmiştir. Salgının olası kaynağının belirlenmesi için yapılan araştırmalar doğrultusunda taze sebze tüketiminin salgına kaynak olabileceği düşünülmüştür. Araştırmaların detaylandırılması sonucunda salgına taze sebzelerin yetiştirilmesinde kullanılan tohumların neden olduğu anlaşılmıştır (Gürel ve Aslan, 2019).

Gümüşhane ilinde meydana gelen bir diğer salgına *E. coli* türü patojenlerin sebep olduğu anlaşılmıştır. Salgın kapsamında 138 vaka tespit edilmiştir. Bir vaka tedavi altına alınmış ve ölüm bildirilmemiştir. Şehir şebekesini besleyen iki kuyudan alınan örneklerde yüksek oranda *E. coli*'ye rastlanmıştır (Anonim, 2019).

İskoçya ve İngiltere'deki halk sağlığı topluluğu tarafından 28 Ağustos - 29 Eylül 2019 tarihleri arasında, *E. coli* O157:H7 suşu ile enfekte olmuş toplam 7 vaka tespit edilmiştir. Vakaların geçmişe dönük gıda tüketimleri araştırıldığında ortak tüketilen besin maddesinin İskoçya'da bir çiftlikte yetiştirilen sığır eti olduğu anlaşılmıştır. Yapılan klinik çalışmalar sonucunda sığır etinin *E. coli* O157:H7 ile enfekte olduğu kanıtlanmıştır. Salgın kapsamında 2 kişide HUS meydana gelmiştir ve can kaybı yaşanmamıştır (Butt ve ark., 2021b).

Birleşik Krallık'ta 2021 yılında *E. coli* O26:H11 kaynaklı bir salgın meydana gelmiştir. 14'ü İskoçya'da, 16'sı İngiltere'de ve 2'si Galler'de olmak üzere toplam 32 vaka tespit edilmiştir. Salgının kaynağının belirlenmesi için vakaların gıda geçmişleri araştırılmış ve ortak tüketilen gıda maddesinin aynı gıda zincirinden temin edilen paketlenmiş sandviçler olduğu anlaşılmıştır (Butt ve ark., 2021a).

Japonya'nın Saitama kentindeki Yashio'da bir okulda meydana gelen gıda kaynaklı salgında yaklaşık 3000 kişi enfekte olmuştur. İlkokul ve ortaokul öğrencilerinin, okulda servis edilen öğle yemeğinden sonra semptom gösterdikleri anlaşılmıştır. Yapılan klinik çalışmalar sonucunda deniz yosunu salatası ve kırmızı deniz yosunu tüketimi kaynaklı *E. coli* O7:H4 enfeksiyonu tanımlanmıştır (Kashima ve ark., 2021).

Büyük Britanya'da 25 Mayıs ile 24 Haziran 2024'te Shiga-toksini üreten *E. coli* O145 salgınının araştırılması sonucunda 275 doğrulanmış vaka bildirilmiştir. Vakalardan 7 tanesinde HUS meydana gelmiş ve 2 kişi salgını suşu ile enfeksiyonun doğrulanmasından sonraki 28 gün içinde yaşamını yitirmiştir. Vakaların gıda geçmişi araştırıldığında marul içeren sandviçlerin salgına neden olduğu düşünülmektedir (Anonim, 2024a).

Birleşik Krallık'ta Temmuz ile Aralık 2023 tarihleri arasında çiğ süt kullanılarak üretilmiş olan peynir kaynaklı bir salgından 36 kişinin etkilendiği belirlenmiştir. Salgın kapsamında 1 kişide HUS geliştiği ve sonrasında hayatını kaybettiği bildirilmiştir. Yapılan klinik araştırmalar sonucunda salgından *E. coli* O145: H28 suşunun sorumlu olduğu belirlenmiştir. (Anonim, 2024b).

Sonuç

WHO verilerine göre gıda kaynaklı enfeksiyonların büyük bir kısmına *E. coli* türüne ait farklı suşlar neden olmaktadır. *E. coli*'nin ana rezervuarı sıcak kanlı hayvanların bağırsak sitemleri olarak bilinmektedir. İnsanlara bulaşığı, hayvanlarla direkt temas sonucunda, hayvan dışkısı ile kontamine olmuş gıdalar ve sular aracılığıyla ve kişiden kişiye fekal-oral kontaminasyon yolu ile olmaktadır. İnsanlarda idrar yolu enfeksiyonları, menenjit, ishalleri enfeksiyonlar ve septisemiye neden olduğu bilinmektedir. Gıdalarda *E. coli* kontaminasyonu, üretim zinciri, işleme, hazırlama ve yıkama, dağıtım, pazarlama ve hatta evde hazırlamanın herhangi bir aşamasında meydana gelebilmektedir. Gıda kaynaklı *E. coli* enfeksiyonlarını ve mikrobiyal bulaşığı önleyebilmek amacıyla öncelikle gıdaların yetiştirilmesi ve temizlenmesi sırasında kullanılan suların, içme suları ve havuz sularının, *E. coli*'nin ana rezervuarı olan hayvan dışkılarıyla kontaminasyonuna engel olunmalı ve uygun periyodlarla klorlanarak mikrobiyolojik kalitesine dikkat edilmelidir.

E. coli kaynaklı gıda enfeksiyonuna maruz kalan bireylerde hemorajik kolit, hemolitik üremik sendrom ve trombotik trombositopenik purpura gibi ciddi sağlık sorunları meydana gelmektedir. Bu derleme çalışmasında ele alınan yayınlar kapsamında enfekte olan vakalardan 57'sinde HUS meydana geldiği ve 6 kişinin yaşamını kaybettiği bildirilmiştir. *E. coli* kaynaklı gıda enfeksiyonlarının önlenmesi için kesimhanelerde hijyen kurallarına uyularak etler soğuk zincirde muhafaza edilmelidir. Et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri ve meyve sularına uygun normlarda pastörizasyon işlemleri uygulanmalı ve soğuk zincirde depolanmalıdır.

E. coli kaynaklı gıda enfeksiyonlarının azaltılması amacıyla gıdalarda bulunan bakteri miktarının tespit edilmesine yönelik yöntemler geliştirilmektedir. Yüksek maliyetli, uzun prosedürlü ve uzman personel gerektiren geleneksel yöntemlere alternatif olarak geliştirilen izotermal amplifikasyon, biyosensör, Raman spektrofotometrisi gibi yöntemler hızlı ve güvenilir sonuç üretmektedir.

Teşekkür

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Bu makaleyi hazırlayan yazarlar, araştırmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Almeida, P., Arais, L., Andrade, J., Prado, E., Irino, K. and Cerqueria, A. 2012. Characterization of atypical *Enteropathogenic Escherichia coli* (aEPEC) isolated from dogs, *Veterinary Microbiology*, 158(3–4): 420-424. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.02.021>

- Alharbi, M. G., Al-Hindi, R. R., Esmael, A., Alotibi, I. A., Azhari, S. A., Alseghayer, M. S. and Teklemariam, A. D. 2022. The “big six”: Hidden emerging foodborne bacterial pathogens. *Tropical medicine and infectious disease*, 7(11), 356. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed7110356>
- Anonim, 2019. Gümüşhane'de 100'ü aşkın kişinin zehirlendiği şebeke suyunda yüksek oranda *E.coli* ve koliform tespit edildi. https://www.ntv.com.tr/turkiye/gumushanede-100u-askin-kisinin-zehirlendigi-sebeke-suyunda-yuksekoranda-e-coli,DY_60zdDqkifjF0bdWOVDQ (04.01.2021 16:13).
- Anonim, 2024a. Investigation into an outbreak of Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) O145 in Great Britain, May to June 2024. <https://www.gov.uk/government/publications/shiga-toxin-producing-e-coli-outbreak-o145-may-to-june-2024/investigation-into-an-outbreak-of-shiga-toxin-producing-e-coli-stec-o145-in-great-britain-may-to-june-2024> (07.09.2024 13:16).
- Anonim, 2024b. Update on reporting of non-O157 STEC infections and an outbreak of Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) O145 in the UK, February 2024. <https://www.gov.uk/government/publications/health-protection-report-volume-18-2024/hpr-volume-18-issue-2-news-7-march-2024> (07.09.2024 13:26).
- Bedir, B. 2016. Ekstraintestinal Enfeksiyonlardan İzole Edilen ve Virulans Faktörleri Tanımlanan *E. Coli* Suşlarının Filogenetik İlişkilerinin Tespitinde Rapd Yönteminin Önemi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı.
- Bhardwaj, D., Taneja, N., DP, S., Chakotiya, A., Patel, P., Taneja, P., Sachdev, D., Gupta, S. and Sanal, M. 2021. Phenotypic and genotypic characterization of biofilm forming, antimicrobial resistant, pathogenic *Escherichia coli* isolated from Indian dairy and meat products. *International Journal of Food Microbiology*. 336: 108899. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108899>
- Bielaszewska, M., Zhang, W., Tarr, P. I., Sonntag, A. K., & Karch, H. (2005). Molecular profiling and phenotype analysis of *Escherichia coli* O26: H11 and O26: NM: secular and geographic consistency of enterohemorrhagic and enteropathogenic isolates. *Journal of clinical microbiology*, 43(8), 4225-4228. <https://doi.org/10.1128/jcm.43.8.4225-4228.2005>
- Bona, M., Medeiros, P., Santos, A., Freitas, T., Prata, M., Veras, H., Amaral, M., Oliveira, D., Havt, A. and Lima, A. 2019. Virulence-related genes are associated with clinical and nutritional outcomes of *Shigella/Enteroinvasive Escherichia coli* pathotype infection in children from Brazilian semiarid region: A community case-control study. *International Journal of Medical Microbiology*. 309(2): 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2019.01.003>
- Brosel-Oliu, S., Ferreira, R., Uria, N., Abramova, N., Gargallo, R., Muñoz-Pascual, F. X. and Bratov, A. 2018. Novel impedimetric aptasensor for label-free detection of *Escherichia coli* O157: H7. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255: 2988-2995. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.121>
- Butt, S., Allison, L., Vishram, B., Greig, D.R., Hava, H., McDonald, E., Drennan, G., Jenkins, C., Byrne, L., Licence, K. and Palmer, A.S. 2021a. Epidemiological investigations identified an outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* serotype O26:H11 associated with pre-packed sandwiches. *Epidemiology and Infection*. 149: e178. <https://doi.org/10.1017/S0950268821001576>

- Butt, S., Palmer, A.S., Shand, A., McDonald, E., Allison, L., Maund, J., Fernandes, A., Vishram, B., Greig, D.R., Jenkins, C. and Elson, R. 2021b. Evidence of on-going transmission of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 following a foodborne outbreak. *Epidemiology and Infection*. 149: e147. <https://doi.org/10.1017/S0950268821001278>
- Cho, S. Kim, J., Oh, K., Hu, J., Seo, J., Oh, S., Hur, H, Choi, Y., Youn, S., Chung, G. and Choe, Y. 2013. Outbreak of enterotoxigenic *Escherichia coli* O169 enteritis in schoolchildren associated with consumption of kimchi, Republic of Korea, 2012, *Epidemiology and Infection*, 142(3): 616-623. <https://doi.org/10.1017/S0950268813001477>
- Carbonari, C. C., Miliwebsky, E. S., Zolezzi, G., Deza, N. L., Fittipaldi, N., Manfredi, E., Baschkier, A., D'Astek, B. A., Melano, R. G., Schesi, C., Rivas, M. and Chinen, I. 2022. The importance of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O145: NM [H28]/H28 infections in Argentina, 1998–2020. *Microorganisms*, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030582>
- Çoksaygılı, N. ve Başoğlu, F. 2011. Bursa Piyasasında Satılan Hazır Çorbaların Mikrobiyolojik Özellikleri. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 25(1): 87-95.
- Dai, J., Li, C, Cui, H., and Lin, L. 2021. Unraveling the anti-bacterial mechanism of Litsea cubeba essential oil against *E. coli* O157:H7 and its application in vegetable juices, *International Journal of Food Microbiology*. 338: 108989. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108989>
- Değirmenci, İ. 2017, Turunç, Nar Erik Ve Sumak Ekşilerinin Bazı Gıda Patojenleri (*Salmonella*, *E.Coli*, *E.Coli* O157:h7, *Listeria Spp.*, *S.Aureus*) Üzerine Antimikrobiyal Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- Escher, M., Scavia, G., Morabito, S., Tozzoli, R., Mauglaiani, B., Cantoni, S., Fracchia, S., Bettati, B., Casa, R., Gesu, G., Torresani, E. and Caprioli, B. 2014. A severe foodborne outbreak of diarrhoea linked to a canteen in Italy caused by enteroinvasive *Escherichia coli*, an uncommon agent, *Epidemiology and Infection*, 142(12): 2559–2566. <https://doi.org/10.1017/S0950268814000181>
- FDA 2018. FDA Update on Traceback Related to the *E. coli* O157:H7 Outbreak Linked to Romaine Lettuce, <https://www.fda.gov/news-events/fda-voices/fda-update-traceback-related-e-coli-o157h7-outbreak-linked-romaine-lettuce>. Erişim tarihi: 08.06.2024, 21:33
- FDA 2019a. Outbreak Investigation of *E. coli*: Ground Bison (July 2019). <https://public4.pagefreezer.com/browse/FDA/26-03-2024T13:07/https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-ground-bison-july-2019>. Erişim tarihi: 11.06.2024, 15:08
- FDA 2019b. Outbreak Investigation of *E. coli*: Flour (May 2019). <https://public4.pagefreezer.com/browse/FDA/26-03-2024T13:07/https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-flour-may-2019>. Erişim tarihi: 11.06.2024, 15:21
- FDA 2020a. Outbreak Investigation of *E. coli* O103: Clover Sprouts (February 2020). <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-o103-clover-sprouts-february-2020>. Erişim tarihi: 08.06.2024, 21:26

- FDA 2020b. Outbreak Investigation of *E. coli*: Salad Mix (December 2019), <https://public4.pagefreezer.com/browse/FDA/26-03-2024T13:07/https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-salad-mix-december-2019>, Erişim tarihi: 11.06.2024, 15:06
- FDA 2021. 2021 *E. coli* Outbreak Linked to Cake Mix - Investigation Details. https://archive.cdc.gov/#/details?archive_url=https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/ecoli/2021/o121-07-21/details.html. Erişim tarihi: 08.06.2024, 22:10
- FDA 2022a. Outbreak Investigation of *E. coli* - Leafy Greens (December 2020), <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-leafy-greens-december-2020>. Erişim tarihi: 08.06.2024, 21:11
- FDA 2022b. Outbreak Investigation of *E. Coli* O157:H7 - Spinach (November 2021). <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-o157h7-spinach-november-2021>, Erişim tarihi: 08.06.2024, 22:16
- FDA 2024a. Outbreak Investigation of *E. coli* O157:H7: Bulk Organic Walnuts (April 2024). <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-e-coli-o157h7-bulk-organic-walnuts-april-2024>. Erişim tarihi: 08.06.2024, 21:18
- FDA 2024b. Investigation Update: *E. coli* outbreak, Raw Cheddar Cheese - March 2024. <https://www.cdc.gov/ecoli/outbreaks/details-raw-milk-cheese-2-24.html>. Erişim tarihi: 08.06.2024, 21:42
- Fox, E., Jiang Y. and Gobius K. 2018. Key pathogenic bacteria associated with dairy foods: On-farm ecology and products associated with foodborne pathogen transmission. *International Dairy Journal*. 84: 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.03.013>
- Fratamico, P. M., DebRoy, C., Miyamoto, T. and Liu, Y. 2009. PCR detection of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O145 in food by targeting genes in the *E. coli* O145 O-antigen gene cluster and the Shiga toxin 1 and Shiga toxin 2 genes. *Foodborne Pathogens and Disease*, 6 (5), 605-611. <https://doi.org/10.1089/fpd.2008.0254>
- Greig, D. R., Quinn, O. I., Rodwell, E. V., Olonade, I., Swift, C., Douglas, A., Balasegram, S. and Jenkins, C. 2024. Genomic analysis of an outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O183: H18 in the United Kingdom, 2023. *Microbial Genomics*, 10(5), 001243. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.001243>
- Glowacki, E., Glowacki, J., Chung, A. and Wilcox, G. 2019. Reactions to foodborne *Escherichia coli* outbreaks: A text-mining analysis of the public's response. *American Journal of Infection Control*. 47(10): 1280-1282. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.04.004>
- Govindarajan, D. K., Viswalingam, N., Meganathan, Y. and Kandaswamy, K. 2020. Adhesion patterns of *Escherichia coli* in the gut and its role in pathogenesis, *Medicine in Microecology*, 5: 100025. <https://doi.org/10.1016/j.medmic.2020.100025>
- Gu, G., Bolten, S., Mowery, J., Luo, Y., Gulbranson, C. and Nou, X. 2020. Susceptibility of foodborne pathogens to sanitizers in produce rinse water and potential induction of viable but non-culturable state. *Food Control*. 112. 107138. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107138>

- Güner, A., Çevik, E., Şenel, M. ve Alpsoy, L. 2017. An electrochemical immunosensor for sensitive detection of *Escherichia coli* O157: H7 by using chitosan, MWCNT, polypyrrole with gold nanoparticles hybrid sensing platform. *Food Chemistry*, 229: 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.083>
- Gürel, Z. ve Aslan, D. 2019. Halk sağlığı bakış açısıyla gıda kaynaklı krizler ve önleme yaklaşımları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 76 (3): 361-376.
- Han, L. 2019. Rapid determination of viable but non-culturable *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in fresh produce by loop-mediated isothermal amplification coupling propidium monoazide treatment, Doctoral dissertation, University of British Columbia.
- Hara-Kudo, Y., Ohtsuka, K., Konishi, N., Yoshida, T., Iwabuchi, K., Hiratsuka, T., Nagai, Y., Kimata, K., Wada, H., Yamazaki, T., Tsuchiya, A., Mori, T., Inagaki, S., Shiraishi, S. and Terajima, J. 2020. An interlaboratory study on the detection methods for enterotoxigenic *Escherichia coli* in vegetables using enterotoxin gene screening and selective agars for ETEC-specific isolation. *International Journal of Food Microbiology*. 334: 108832. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108832>
- Havt, A., Lima, I., Medeiros, P., Clementino, M., Santos, A., Amaral, M., Veras, H., Prata, M., Lima, N., Moura, A., Leite, A., Soares, A., Filho, J., Houpt, E., Nataro, J., Guerrant, R. and Lima, A. 2017. Prevalence and virulence gene profiling of enteroaggregative *Escherichia coli* in malnourished and nourished Brazilian children. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 89(2): 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2017.06.024>
- Hiruta, N., Himori, M., Habutsu, M., Okamura, N., Ogawa, M., Matsushita, S. and Kudoh, Y. 1991. Enteroinvasive *Escherichia coli* O121: H-isolated from travellers' diarrhea. *Kansenshogaku zasshi. The Journal of the Japanese Association for Infectious Diseases*, 65 (5), 537-539. <https://doi.org/10.11150/kansenshogakuzasshi1970.65.537>
- Jeon, B. W., Jeong, J. M., Won, G. Y., Park, H., Eo, S. K., Kang, H. Y., Hur, J. and Lee, J. H. 2006. Prevalence and characteristics of *Escherichia coli* O26 and O111 from cattle in Korea. *International journal of food microbiology*, 110 (2), 123-126. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.01.035>
- Kashima, K., Sato, M., Osaka, Y., Sakakida, N., Kando, S., Ohtsuka, K., Doi, R., Chiba, Y., Takase, S., Fujiwara, A., Shimada, S., Ishii, R., Mizokoshi, A., Takano, M., Lee, K., Iyoda, S. and Honda, A. 2021. An outbreak of food poisoning due to *Escherichia coli* serotype O7:H4 carrying *astA* for enteroaggregative *E. coli* heat-stable enterotoxin1 (EAST1). *Epidemiology and Infection*. 149: e244. <https://doi.org/10.1017/S0950268821002338>
- Kato, K., Shimoura, R., Nashimura, K., Yoshifuzi, K., Shiroshita, K., Sakurai, N., Kodama, H. and Kuramoto, S. 2005. Outbreak of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O111 among high school participants in excursion to Korea. *Japanese journal of infectious diseases*, 58(5), 332-333. <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2005.332>
- Keba, A., Rolon, M., Tamene, A., Tatlısı, K., Vipham, J., Kovac, J. and Zewdu, A. 2020. Review of the prevalence of foodborne pathogens in milk and dairy products in Ethiopia. *International Dairy Journal*, 109: 104762. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104762>

- Khanifar, J. Hosseini, R., Kazemi, R., Ramandi, M., Amani, J. and Salmanian, A. 2019. Prevention of EHEC infection by chitosan nano-structure coupled with synthetic recombinant antigen. *Journal of Microbiological Methods*, 157: 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2019.01.002>
- King, L., Loukiadis, E., Marian-Kurkdjian, P., Haegbaert, S., Weill, F., Baliere, C., Ganet, S., Gouali, M., Vaillant, V., Pihier, N., Callon, R., Novo, R., Gaillot, O., Thevenot-Sergentet, D., Bingen, E., Chaud, P. and Valk, H. 2014. Foodborne transmission of sorbitol-fermenting *Escherichia coli* O157:[H7] via ground beef: an outbreak in northern France, 2011. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(12): 1136-1144. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12736>
- Lee, S. Y. and Oh, S.W. 2022. Filtration-based LAMP-CRISPR/Cas12a system for the rapid, sensitive and visualized detection of *Escherichia coli* O157: H7. *Talanta*, 241: 123186. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.123186>
- Li, Y., Liu, H., Huang, H., Deng, J., Fang, L., Luo, J., Zhang, S., Huang, J., Liang, W. and Zheng, J. 2020. A sensitive electrochemical strategy via multiple amplification reactions for the detection of *E. coli* O157: H7. *Biosensors and Bioelectronics*, 147: 111752. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111752>
- Li, Z., Fu, Y., Fang, W. and Li, Y. 2015. Electrochemical impedance immunosensor based on self-assembled monolayers for rapid detection of *Escherichia coli* O157: H7 with signal amplification using lectin. *Sensors*, 15(8): 19212-19224. <https://doi.org/10.3390/s150819212>
- Li, Z., Ye, Z., Fu, Y., Xiong, Y. and Li, Y. 2016. A portable electrochemical immunosensor for rapid detection of trace aflatoxin B 1 in rice. *Analytical methods*, 8(3): 548-553. <https://doi.org/10.1039/C5AY02643A>
- Lv, X., Wang, L., Zhang, J., Zeng, H., Chen, X., Shi, L., Cui, H., Xiaoxin, O. and Zhao, L. 2020. Rapid and sensitive detection of VBNC *Escherichia coli* O157: H7 in beef by PMAXx and real-time LAMP. *Food Control*, 115: 107292. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107292>
- Macdonald, E., Moller, K., Wester, A., Dahle, U., Hermansen, H., Jenum, P., Thoresen, L. and Vold, L. 2014. An outbreak of enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) infection in Norway, 2012: a reminder to consider uncommon pathogens in outbreaks involving imported products, *Epidemiology and Infection*, 143(3): 486-493. <https://doi.org/10.1017/S0950268814001058>
- Matulkova, P., Gobin, M., Taylor, J., Oshin, F., Oconnor, K. and Oliver, I. 2013. Crab meat: a novel vehicle for *E. coli* O157 identified in an outbreak in South West England, *Epidemiology and Infection*, 141(10): 2043-2050. <https://doi.org/10.1017/S0950268812002816>
- McCarthy, T. A., Barrett, N. L., Hadler, J. L., Salsbury, B., Howard, R. T., Dingman, D. W., Brinkman, C. D., Bibb, W. F. and Cartter, M. L. 2001. Hemolytic-uremic syndrome and *Escherichia coli* O121 at a lake in Connecticut, 1999. *Pediatrics*, 108(4), e59-e59. <https://doi.org/10.1542/peds.108.4.e59>
- Michelacci, V., Prosseda, G., Maugliani, A., Tozzoli, R., Sanchez, S., Herrera-Leon, S., Dallman, T., Jenkins, C., Caprioli, A. and Morabito, S. 2016. Characterization of an emerging clone of enteroinvasive *Escherichia coli* circulating in Europe. *Clinical Microbiology and Infection*, 22(3): 287.e11-9. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.10.025>

- Muthukumar, D. and Shtenberg, G. 2023. SERS-based immunosensor for *E. coli* contaminants detection in milk using silver-coated nanoporous silicon substrates. *Talanta*, 254: 124132. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.124132>
- Nabae, K., Takahashi, M., Wakui, T., Kamiya, H., Nakashima, K., Taniguchi, K. and Okabe, N. 2012. A Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157 outbreak associated with consumption of rice cakes in 2011 in Japan, *Epidemiology and Infection*, 141(9). <https://doi.org/10.1017/S0950268812002439>
- Nataro, J. P. and Kaper, J. B. 1998. Diarrheogenic escherichia coli. *Clinical microbiology reviews*, 11(1), 142-201. <https://doi.org/10.1128/cmr.11.1.142>
- Notomi, T., Okayama, H., Masubuchi, H., Yonekawa, T., Watanabe, K., Amino, N. and Hase, T. 2000. Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic acids research*, 28(12): e63-e63.
- Özkaya, F. ve Cömert M. 2008. Gıda Zehirlenmelerinde Etken Faktörler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 65(3): 149-158. <https://doi.org/10.1093/nar/28.12.e63>
- Özyurt, T. 2011. EHEC (Enterohemorajik Escherichia coli) ve Önemi. *Analiz*'35. 10: 8-11
- Pienaar, J., Singh, A. and Barnard, T. 2019. Acid-happy: Survival and recovery of enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) in simulated gastric fluid. *Microbial Pathogenesis*. 128: 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.01.022>
- Piepenburg, O., Williams, C.H., Stemple, D.L. and Armes, N.A. 2006. DNA detection using recombination proteins. *PLoS biology*, 4(7): e204. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040204>
- Rani, A., Donovan, N. And Mantri, N. 2019. The future of plant pathogen diagnostics in a nursery production system. *Biosensors and Bioelectronics*, 145: 111631. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111631>
- Rani, A., Ravindran, V. B., Surapaneni, A., Mantri, N. and Ball, A.S. 2021. Trends in point-of-care diagnosis for *Escherichia coli* O157: H7 in food and water. *International Journal of Food Microbiology*, 349: 109233. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109233>
- Razmi, N., Hasanzadeh, M., Willander, M. and Nur, O. 2020. Recent progress on the electrochemical biosensing of *Escherichia coli* O157: H7: Material and methods overview. *Biosensors*, 10(5): 54. <https://doi.org/10.3390/bios10050054>
- Ro, E., Ko, Y. and Yoon, K. 2015. Survival of pathogenic enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) and control with calcium oxide in frozen meat products. *Food Microbiology*. 49: 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.02.010>
- Sá, S. R., Junior, A. G. S., Lima-Neto, R. G., Andrade, C. A. and Oliveira, M. D. 2020. Lectin-based impedimetric biosensor for differentiation of pathogenic candida species. *Talanta*, 220: 121375. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121375>
- Sekse, C., Sunde, M., Hopp, P., Bruheim, T., Cudjoe, K. S., Kvitle, B. and Urdahl, A. M. 2013. Occurrence of potentially human-pathogenic *Escherichia coli* O103 in Norwegian sheep. *Applied and environmental microbiology*, 79(23), 7502-7509. <https://doi.org/10.1128/AEM.01825-13>

- Simão, E. P., Silva, D. B., Cordeiro, M. T., Gil, L. H., Andrade, C. A. and Oliveira, M.D. 2020. Nanostructured impedimetric lectin-based biosensor for arboviruses detection. *Talanta*, 208: 120338. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120338>
- Sinclair, C., Jenkins, C., Warburton, F., Adak, G. and Harris, J. 2016. Investigation of a national outbreak of STEC *Escherichia coli* O157 using online consumer panel control methods: Great Britain, *Epidemiology and Infection*, 145(5): 864-871. <https://doi.org/10.1017/S0950268816003009>
- Smith-Palmer, A., Hawkins, G., Brownig, L., Allison, L., Hanson, M., Bruce, R., McElhiney, J. and Horne, J. 2018. Outbreak of *Escherichia coli* O157 Phage Type 32 linked to the consumption of venison products. *Epidemiology and Infection*, 146 (15): 1922-1927. <https://doi.org/10.1017/S0950268818001784>
- Snehaa, K., Singh, T., Dar, S., Haque, S., Ramachandran, V., Saha, R., Şah, D. and Das, S. 2020. Typical and atypical enteropathogenic *Escherichia coli* in children with acute diarrhea. changing trend in East Delhi. *Biomedical Journal*, 44(4): 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2020.03.011>
- Taşdemir, C. 2009. Toplum ve Hastane Kaynaklı İnfeksiyonlardan İzole Edilen *Escherichia coli* Suşlarının Antimikrobiyal Direnç Fenotiplerinin Araştırılması, Uzmanlık Tezi, T. C. Sağlık Bakanlığı Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi.
- Telekoğlu, M. 2019. Piyasada Satılan Etlere *Salmonella* spp. Ve *E. coli* O157:H7 Varlığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Temelli, S. 2002. Gıda Zehirlenmesine Neden Olan *E.coli* O157:H7 ve Önemi. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 21: 133-138.
- Tian, C., Zhao, L., Qi, G. and Zhang, S. 2023. Trace detection of *E. coli* O157: H7 cells by an Au nanoparticle-based SERS aptasensor. *ACS Applied Nano Materials*, 6(2): 1386-1394. <https://doi.org/10.1021/acsanm.2c05031>
- Torpdahl, M., White, ED, Schjørring, S., Søby, M., Engberg, J., Engsbro, A.L. and Müller, L. 2023. Imported spring onions related to the first recorded enteroinvasive *Escherichia coli* outbreak in Denmark from November to December 2021. *Eurosurveillance*, 28 (15): 2200572.
- Ünlütürk, A. ve Turantaş, F. 2015. Gıda Kaynaklı Mikrobiyal Hastalıklar. İzmir, Türkiye, pp. 133-136
- Vergis, C., Pathak, R., Kumar, M., Sunitha, R., Malik, S., Barbudde, S. and Rawool, D. 2018. A comparative study to detect the production of extended spectrum β -lactamase (ESBL) by enteroaggregative strains using *Escherichia coli* (EAEC) double disk, nitrocepine and PCR tests, *Journal of Microbiological Methods*, 151: 57-61 <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2018.06.004>
- Wen, Y., Tan, Y., Zhao, L., Lv, X., Lin, L., Liang, D. and Wang, L. 2022. Rapid on-site detection of viable *Escherichia coli* O157: H7 in lettuce using immunomagnetic separation combined with PMAxx-LAMP and nucleic acid lateral flow strip. *Microchemical Journal*, 178: 107348. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107348>
- Yamasaki, T., Miyake, S., Nakano, S., Morimura, H., Hirakawa, Y., Nagao, M., Iijima, Y., Narita, H. and Ichiyama, S. 2016. Development of a surface plasmon resonance-based immunosensor for detection of 10

- major O-antigens on Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, with a gel displacement technique to remove bound bacteria. *Analytical chemistry*, 88(13), 6711-6717.
- Yan, S., Liu, C., Fang, S., Ma, J., Qiu, J., Xu, D., Li, L., Yu, J., Li, D. and Liu, Q. 2020. SERS-based lateral flow assay combined with machine learning for highly sensitive quantitative analysis of *Escherichia coli* O157: H7. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412: 7881-7890. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02921-0>
- Zhao, L., Wang, J., Chen, M., Sun, X., Wang, Y., Wang, J. and Geng, Y. 2022. Development and application of recombinase polymerase amplification assays for rapid detection of *Escherichia coli* O157 in food. *Food Analytical Methods*, 15(7):1843-1850. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02250-1>
- Zhou, S., Lu, C., Li, Y., Xue, L., Zhao, C., Tian, G., Bao, Y., Tang, L., Lin, H. and Zheng, J. 2020. Gold nanobones enhanced ultrasensitive surface-enhanced Raman scattering aptasensor for detecting *Escherichia coli* O157: H7. *ACS sensors*, 5(2): 588-596. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b02600>
- Zhu, X., Zhao, Y., Zhang, Z. Wang, H., Liu, B., Li, Z. and Wang, M. 2021. A disposable gold foil paper-based aptasensor for detection of enteropathogenic *Escherichia coli* with SERS analysis and magnetic separation technology. *Microchim Acta*, 188, 396. <https://doi.org/10.1007/s00604-021-05052-0>