



Flow Cytometry Applications in Food Microbiology

Münevver Kahraman^{1,a,*}, Aynur Gül Karahan Çakmakçı^{2,b}

¹Akdeniz Üniversitesi Tuncer Karpuzoğlu Organ Nakli Enstitüsü, İleri Sağlık Araştırma Merkezi, Konyaaltı, Antalya, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 03.09.2025 Accepted : 08.12.2025</p> <p>Keywords: Flow cytometry Food microbiology Probiotics Pathogen detection Microbial quality</p>	<p>Flow cytometry is an advanced analytical technique that enables rapid and multiparametric evaluation of the physical and physiological properties of microorganisms at the single-cell level. This review comprehensively addresses the technical infrastructure of flow cytometry and its expanding applications in food microbiology. The fundamental features of the instrument, its working principles, and analytical methods are explained. Flow cytometry allows for detailed analysis of cellular components and stands out in various applications in food microbiology, including the detection of pathogens, viability assessment of probiotics, monitoring of fermentation processes, and determination of microbial load in water sources. Compared to conventional culture-based methods, flow cytometry offers significant advantages such as faster results, the ability to distinguish between live and dead cells, and detailed insights into metabolic activity. Particularly in the analysis of lactic acid bacteria (LAB), staining techniques based on membrane integrity and enzyme activity have yielded meaningful results. However, certain limitations arise from sample preparation, staining protocols, and the technical requirements of instrument operation. This study highlights both the strengths and limitations of the method and evaluates its current role in food microbiology in light of scientific evidence.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(1): 305-316, 2026

Gıda Mikrobiyolojisinde Akış Sitometri Uygulamaları

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 03.09.2025 Kabul : 08.12.2025</p> <p>Anahtar Kelimeler: Akış sitometri Gıda mikrobiyolojisi Probiyotikler Patojen tespiti Mikrobiyal kalite</p>	<p>Akış sitometri, mikroorganizmaların fiziksel ve fizyolojik özelliklerini hücre bazında çok parametrelili ve hızlı biçimde değerlendirmeye olanak tanıyan gelişmiş bir analiz yöntemidir. Bu derlemede, akış sitometrinin teknik altyapısı ve gıda mikrobiyolojisinde artan kullanım alanları kapsamlı şekilde ele alınmıştır. Cihazın temel özellikleri, çalışma prensibi ve analiz yöntemleri açıklanmıştır. Akış sitometri ile hücre bileşenlerinin ayrıntılı analizi yapılabilmekte, bunun yanı sıra gıda mikrobiyolojisinde patojenlerin tespiti, probiyotiklerin canlılık analizleri, fermantasyon süreçlerinin takibi ve su kaynaklarında mikrobiyal yükün belirlenmesi, bu yöntemin öne çıktığı başlıca uygulama alanları arasında yer almaktadır. Akış sitometri; klasik kültür yöntemlerine göre daha kısa sürede sonuç vermesi, canlı-ölü hücre ayrımı yapabilmesi ve metabolik aktivite hakkında detaylı bilgi sunabilmesiyle dikkat çekmektedir. Özellikle laktik asit bakterilerine (LAB) yönelik analizlerde, membran bütünlüğü ve enzim aktivitelere dayalı boyama teknikleri ile anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, örnek hazırlığı, boyama protokolleri ve cihaz kullanımındaki teknik gereklilikler bazı kısıtlar oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, yöntemin güçlü yönleri ve sınırlamaları ortaya konmuş; gıda mikrobiyolojisindeki mevcut rolü bilimsel veriler ışığında değerlendirilmiştir.</p>

^a munevverkahraman@msn.com

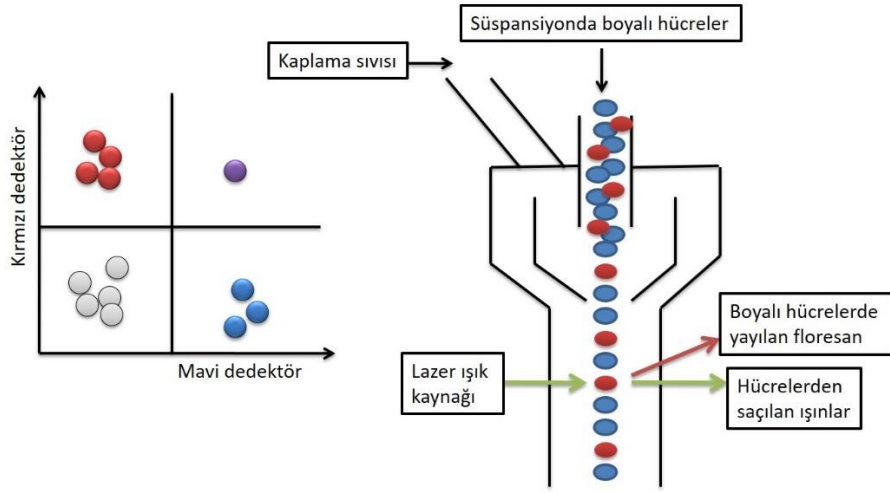
^b <https://orcid.org/0000-0002-5837-5329>

^b aynurkarahan@sdu.edu.tr

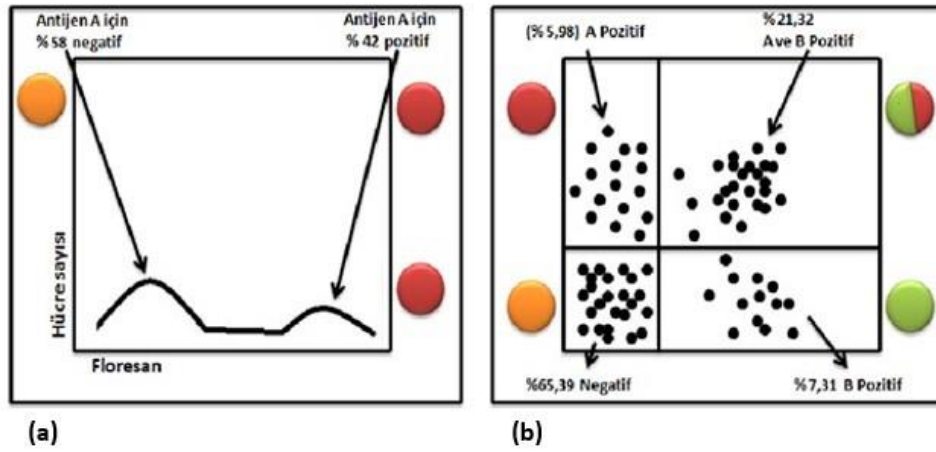
^b <https://orcid.org/0000-0001-7625-5868>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License



Şekil 2. Akış sitometrinin çalışma prensibi (b) ve sitograf görüntüsü (a).
Figure 2. Working principle of flow cytometry (b) and cytograph image (a).



Şekil 2. (a) Tek floresan boya ile işaretli antikorun kullanılmasıyla hücre yüzey belirteçlerinin saptanması, (b) İki farklı floresan boya ile işaretli antikorla elde edilen grafik ile hücre ayırımı ve kantitatif yüzde analizi
Figure 2. (a) Detection of cell surface markers using single fluorescent dye-labeled antibody. (b) Cell separation and quantitative percentage analysis with the graph obtained with antibodies labeled with two different fluorescent dyes.

Akış sitometride hücrenin veya hücre bileşenlerinin kalitatif ve kantitatif analizleri boyalı veya boyasız olarak dört şekilde yapılabilmektedir. Bunlar,

1-Hücrelerin büyüklüğü ve granül yapısı göz önünde bulundurularak yapılan analiz (boyasız):

Her hücre akış yolu içindeki bir noktadan geçerken, lazer kaynağından gelen ışın ile karşılaşır. Hücre-lazer etkileşimi sonucunda oluşan saçılma, ileri açılı ışın saçılması (ileri saçılma veya FSC) veya yan açılı ışın saçılması (yan saçılma veya SSC) olarak bilinen iki ana yönde gerçekleşir. Hem FSC hem de SSC, genel bir şekilde hücreleri boyutlarına ve granül yapısına göre ayırt edebilir. Sitograf olarak bilinen (Şekil 2a) bir profil üzerinde hücrelerin yerini belirlemek mümkün olur (Egli ve Kotsch, 2015; Kennedy ve Wilkinson, 2016; Wilkinson, 2018).

2-Tek floresan boya ile işaretlenen monoklonal antikor kullanılarak yapılan analiz:

İkinci ve daha özel olan hücre algılama ve sayma yöntemi, boyalı hücrelerden lazer ışığının etkisi ile farklı dalga boylarında yayılan floresan sinyallerinin toplanmasını içerir. Veriler, tek tek boyalı hücrelerden toplanır. Belirli bir boyanın alınma derecesi, hücrelerin ayrı alt popülasyonlara ayrılmasına izin verir. Bu nedenle

akış sitometri verileri, hücre zarı bütünlüğünün derecesi, buna bağlı olarak hücre canlılığının gösterilmesi, hücre içi enzim aktivitesinin varlığı ve DNA baz bileşimi gibi farklı özellikleri yansıtabilmektedir (Egli ve Kotsch, 2015; Kennedy ve Wilkinson, 2017; Wilkinson, 2018).

3-Çok renkli floresan boya (2-17 renk) kullanılarak işaretlenen antikor ile yapılan analiz:

Bu yöntemde membran bütünlüğü, hücre içi enzim aktivitesi, membran potansiyeli, hücre içi pH ve hücre bölünmesi ile ilgili çok parametrelili veriler oluşturmak için boya kombinasyonları kullanılır. Hücreler özel floresan boyalı antikorlar ile işaretlendiğinde her bir hücrenin yapısı hakkında ek veriler elde edilebilir. Bu yöntem bir hücrenin taşıdığı iki veya daha fazla özelliği bir seferde gösterebilme kolaylığı sağlamaktadır (Şekil 3) (Wilkinson, 2016).

4- Hücre zarı geçirgenliğinin artırılması yoluyla yapılan analiz:

Hücre içerisindeki antijenlerin ve hücre içi yapıların, eklenen floresan boya ile işaretli antikorlar kullanılarak incelenmesini sağlayan bir yöntemdir (Maecker ve ark., 2005; Azkur, 2012).

Bu şekilde her bir hücre veya hücre parçası lazer demetinin içinden geçerken sapıtılan lazer ışığı ve hücreler tarafından yayılan floresan ışık bir araya getirilir. Optik filtreler ve aynalar tarafından farklı dalga boylarına göre ayrılarak, analog sinyallere dönüştürülür. Bu sinyaller dijitalleştirilerek, histogramlar halinde ekrana aktarılır. Histogram, ölçülen parametrelerin frekans dağılımlarının görsel sunumudur (Karaboz ve ark., 2008).

Yukarıda çalışma prensibi ve yapısı hakkında bilgi verilen temel akış sitometri (traditional flow cytometry) cihazda yapılan bazı değişiklikler ve eklentilere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Hücre sıralayıcıları (cell sorters), akustik odaklama sitometreleri (acoustic focusing cytometers), görüntüleme akış sitometreleri (imaging flow cytometers), kütle sitometreleri, boncuk dizi analizi için sitometreler (cytometers for bead array analysis), spektral analizciler (spectral analyzers) gibi çeşitleri bulunmaktadır (McKinnon, 2018).

Mikrobiyoloji çalışmaları açısından görüntüleme akış sitometrinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Önceleri akış sitometri cihazları ile hücrelerin veya bileşenlerinin morfolojik karakterlerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi olanaksızdı. Günümüzde bu sorun mikroskopi ve akış sitometrinin tek bir sistemde birleştirilmesiyle çözülmüştür. Standart yöntemlere (kültürel sayım ve temel akış sitometri) alternatif olduğu düşünülen görüntüleme akış sitometri, hücrenin fizyolojisi ve morfolojisi hakkında bilgi sağlamaktadır. Tamamlayıcı boyaların kullanımı ile metabolik aktivitelerine ve membran hasarına göre gruplar belirlenebilmektedir (Kieps ve ark., 2023).

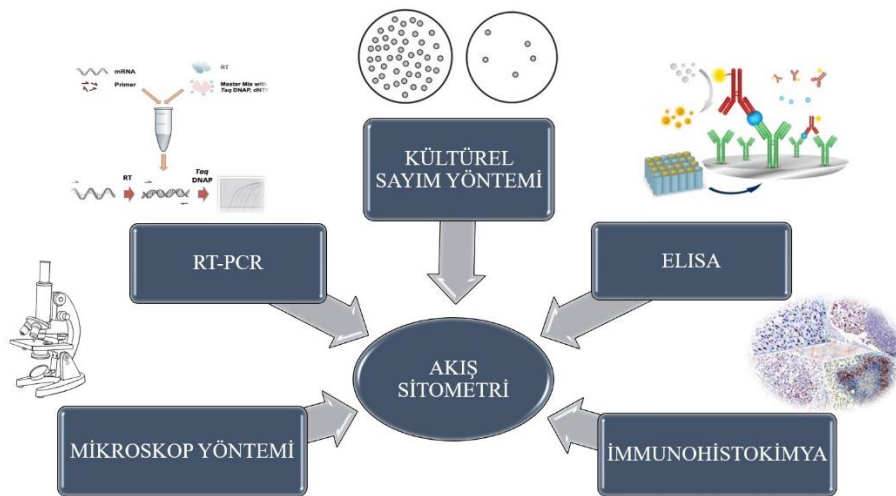
Gıda Mikrobiyolojisi Alanında Akış Sitometri

Son 25 yılda çok parametrelili akış sitometri mikrobiyolojide, özellikle biyoteknolojik çalışmalarda, gıda muhafazası, kimyasal dezenfeksiyon işlemleri, klinik ve endüstriyel uygulamalar için patojen sayımında güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Akış sitometri tekniğinin keşfinden bu yana hücre büyüklüğü (Howard, 2001), DNA içeriği (Steen ve ark., 1982), DNA baz bileşimi (Van Dilla ve ark., 1983), RNA içeriği (Wenisch ve ark., 1997),

protein içeriği (Ormerod, 2000), hücre antijenleri ve yoğunlukları (Lloyd, 1993) belirlenebilmektedir. Ayrıca metabolik aktivite ve membran geçirgenliğinin artırılması yoluyla canlılık tespiti (Jaroszeski ve ark. 1998), tıbbi teşhis (Diaz ve ark., 2010; Aebisher ve ark., 2017), su arıtma ve suyun iletilmesi sırasında oluşabilecek bulaşların belirlenmesi (De Roy ve ark., 2012; Egli & Kotsch, 2015) mümkün olabilmektedir. Bunlara ilaveten bira fermantasyonu (Achilles ve ark., 2006; Bühligen ve ark., 2014), süt endüstrisi (Pane, 2013; Doolan ve ark., 2014; Yanachkina ve ark., 2016), probiyotik kültürler ve ürünler (Davis, 2014; Raymond & Champagne, 2015) gibi alanlarda da çalışmalar yapılmaktadır.

Her geçen gün bu çalışmalara yenileri eklenmekte ve akış sitometrinin kullanıldığı alanlar daha da genişlemektedir. Yöntemin kullanıldığı araştırmaların yanı sıra, çalışmaların bir kısmında akış sitometri yöntemi ile diğer yöntemlerin kıyaslandığı da görülmektedir. Akış sitometri ve kültürel sayım (Michelutti ve ark., 2020; Sielatycka ve ark., 2021) yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalara ilaveten, akış sitometri ve RT-PCR (Bolzon ve ark., 2022), ELISA (Çetin ve ark., 2018), immunohistokimya (Sarma ve ark., 2023), mikroskopi yönteminin (Uehlinger ve ark., 2008) karşılaştırıldığı çalışmalar dikkati çekmektedir. Şekil 4'de akış sitometri ile karşılaştırılan diğer yöntemler özet olarak verilmiştir. Bu kıyaslama çalışmaları gıdalarda patojenlerin ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların yanı sıra fermente gıdalarda yararlı mikroorganizmaların sayımı ve tanısına yönelik olarak gerçekleştirilmektedir.

Mikrobiyoloji, gıda endüstrisi için oldukça dinamik ve önemli bir araştırma, kalite kontrol ve ürün geliştirme dalıdır. Gıda sektöründe gıda güvenliği açısından analiz sonuçlarının hızlı bir şekilde elde edilmesi mikrobiyolojik önlemlerin zamanında alınabilmesi için bir gerekliliktir. Tüm dünyada gıda endüstrisinde bir dizi patojenin ve bozulma etmeninin ürünlerde mümkün olduğunca yok edilmesini sağlamak için çok fazla zaman ve para harcanmaktadır. Bu şekilde, *Enterobacteriaceae*, *E. coli* 0157:H7 ve *Staphylococcus aureus* gibi bakteriyel patojenleri içeren gıdalardan kaynaklanan tüketici hastalıklarını önlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 3. Akış sitometri yöntemi ile karşılaştırması yapılan diğer yöntemler
Figure 3. Flow cytometry method compared to other methods

Akış sitometrinin genel endüstriyel uygulamaları arasında ısıtma işlemi, püskürtme kurutma ve dondurarak kurutma gibi işlem adımlarını takiben hücre hasarının tahmin edilmesi ve biyoproseslerin izlenmesi de yer almaktadır. Bunun yanı sıra fermantasyon yoluyla farklı organik asitler, tat ve koku üzerinde etkili çeşitli bileşenler üreten, gıdanın tekstürünü geliştiren mikroorganizmalar da akış sitometri ile incelenebilmektedir (Díaz ve ark., 2010). Probiyotik içeren gıdalarda ise canlılık belirleme, etiket bilgilerinin doğrulanması vb. çalışmalar yapılmaktadır. Çizelge 1’de tüm bu çalışmalara örnek oluşturacak şekilde seçilmiş araştırmalar görülmektedir.

Gıda Mikrobiyolojisinde Akış Sitometri Kullanılmasının Yararları

Akış sitometri tekniğinin mikrobiyolojik analizler açısından temel üstünlükleri; hızlı tahlil süreleri ve veri üretimi (1-2 dakika), numune başına analiz edilebilen yüksek sayıda hücre (10.000 ve üstü), minimum numune hacmi (5 µl’den itibaren) olarak bilinmektedir. Bunlara ilaveten yüksek verimlilik potansiyeline sahip olması, hücre canlılığının, yapısının ve metabolizmasının çeşitli yönlerini incelemek için mevcut çok sayıda boyama ve geleneksel kaplama tekniklerine kıyasla daha az ışık gücü ve alan gerektirmesidir (Taneli, 2007; Wilkinson, 2016). Akış sitometrinin kendine özgü ve oldukça güçlü bir üstünlüğü ise, hücreleri fiziksel olarak birbirinden ayırabilmesidir. Böylece daha ileri analizler yapabilmek için belirli hücrelerin saf örneklerini elde etmek mümkün olmaktadır. Bunun yanı sıra yazılım yenilenmesi ya da yeni antikolar üretilmesi yoluyla geliştirilebilir bir cihaz ve yöntemdir.

Akış sitometrinin üstünlüklerini vurgulamak açısından aşağıda gıda patojenleri ve probiyotik özellik gösteren LAB’yi konu alan çalışmalara örnekler verilmiştir. Xue ve ark. (2016)’nın yaptıkları çalışmada oligonükleotid prob kullanılarak çok sayıda farklı bakteri varlığında az sayıdaki *E. coli* ve *Shigella* hücrelerinin hızlı tespiti sağlanmıştır. Bu nedenle geliştirilen yöntem, gıda endüstrisinde bulaşma riskine karşı *E. coli* ve *Shigella* hücrelerinin hızlı, ekonomik ve istikrarlı tespiti için kullanılabilir olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda akış sitometri için örneklerin hazırlanması genetik temelli yöntemler için örnek hazırlamaya göre daha az zaman alıcıdır (2 saate karşı 5 dakika).

Akış sitometrinin hız, zaman ve güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla yapılan diğer bir çalışmada çiğ ıspanakta *E. coli* 0157:H7 varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla Birleşik Devletler Gıda ve İlaç İdaresi’nin (U.S. Food and Drug Administration, FDA) bakteriyolojik analizler el kitabında bulunan yöntemle akış sitometri kıyaslanmıştır. *E. coli* 0157:H7 içeren 10 adet örnek her iki yöntemle incelenmiştir. Akış sitometri ile *E. coli* 0157:H7 içeren 10 adet örnekten 6 adedinde, klasik yöntemle ise 5 adedinde pozitif sonuç alınmıştır. Hız ve dolayısıyla zaman açısından değerlendirildiğinde ise akış sitometri 9 saatte, klasik yöntem ise 51 saatte sonuç vermiştir (Williams ve ark., 2015).

Gandhi ve Shah (2015)’in yaptıkları çalışmada, *Lactobacillus acidophilus* CSCC 2400, *Lactocaseibacillus casei* (*L. casei*) ASCC 290 ve *Bifidobacterium longum* CSCC 5089’un canlılık ve membran bütünlüğü üzerine değişen sodyum klorür konsantrasyonlarının (%0-5) etkisi geleneksel yöntem ve akış sitometri ile karşılaştırılmıştır.

Bu bakterilerin hücre esteraz aktivitesi ve membran bütünlüğü üzerine farklı NaCl konsantrasyonlarının etkisini değerlendirmek için karboksifloresan diasetat (cFDA) ve propidyum iyodür ile çift boyama yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen bakteriler arasında *L. casei* ASCC 290’ın metabolik aktivitesi ve tuz direncinin en yüksek olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada akış sitometrinin kültürel sayım yöntemine kıyasla avantajlı bir şekilde hücrelerin metabolik durumunu yansıttığı görülmüştür. Akış sitometrinin bakterilerin tuz direncinin belirlenmesinde ve tuza dirençli bakterilerin seçiminde yararlı olacağı ileri sürülmüştür.

Klasik yöntemlere kıyasla sağladığı bu avantajların yanı sıra akış sitometride alınan sonuçların ortalamalarına ait standart sapmalar %10’dan daha az değişkenlik gösterir. Ayrıca saatte yapılabilecek test sayısı (1 saatte 48’e kadar) dikkate alındığında reaktifler nispeten ucuzdur (Michelutti ve ark., 2020; Bolzon ve ark., 2022).

Gıda Mikrobiyolojisinde Akış Sitometri Uygulamasının Sorunları

Birçok üstünlüğü olmasına karşın akış sitometri yöntemi sadece akışkan içindeki hücrelerin analizi için uygundur. Hücrelerin dokulardan ayrıştırılarak bir akışkan içerisine alınmış olması gerekmektedir. Akış sitometri cihazları çok özel ve ayrıntılı cihazlar olduğundan, tam performans ile güvenilir sonuçlar elde edilmesi için sadece cihaza hakim ve çok iyi eğitim almış kullanıcılara ihtiyaç duyulması da kısıtlayıcı bir durum oluşturabilir (Söbeli & Kayaardı, 2014). Bunlara ilaveten ofloresan oluşturan partiküller içeren gıda örneklerinin analizinde, bakteri hücrelerinin tespit edilmesi ofloresan ile engellenebilir. Bu nedenle bazı özel örnek hazırlama işlemleri gerekebilir. Hazır yemekler gibi içeriği zengin gıda örneklerinde DNA/RNA içeren bileşenler, hücre canlılığını belirlemek amacıyla kullanılan DNA temelli boyalara bağlanarak soruna yol açabilir. Gıdalarda patojen analizi açısından önemli bir sorun da, akış sitometride kullanılan boyaların çoğunun patojenlerin tür düzeyinde tanısına olanak vermemesidir. Ancak, floresan in situ hibridizasyon (FISH) gibi DNA temelli tekniklerin akış sitometri ile birlikte kullanılması veya mono/poliklonal antikoların kullanımı ile bu sorun çözülebilmektedir. Diğer önemli bir sorun ise akış sitometri ile gıda örneklerindeki mikrobiyota içinde bulunan bir patojeni saptamak için gerekli özel antikoların piyasada bulunmamasıdır (Wilkinson, 2016). Akış sitometrinin gıda mikrobiyolojisinde kullanıma yönelik üstünlükleri ve sorunlar Çizelge 2’de özetlenmiştir.

Su Kalitesinin Belirlenmesinde Akış Sitometri

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde şehir sularına mikroorganizmaların bulaşması önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bakteriler (*Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholera*), virüsler (Rotavirus, Norovirus), protozoa (*Giardia* ve *Cryptosporidium*) ve siyanobakterler (*Nostoc* vb.) gibi mikroorganizmalar içme sularındaki başlıca patojenlerdir. Siyanobakterler su kaynaklarında alg patlamasına yol açar ve siyanotoksinler gibi zehirli bileşikler oluşturur. Sulardaki patojenlerin ana kaynakları evcil ve vahşi hayvanların dışkı, kanalizasyon suları ve endüstriyel/ilaç sanayi atıklarıdır. Kötü yönetim ve bilinçsizlik bu şekilde bulaşan suların tüketilmesiyle insanlarda su kökenli hastalıklara neden olur (Rani et al., 2024).

Çizelge 1. Akış Sitometri Yönteminin Kullanıldığı Gıda Mühendisliği Alanındaki Çalışmalar
Table 1. Studies in the Field of Food Engineering Using the Flow Cytometry Method

No	Yıl	Yöntem	Yayın Başlığı	Referans
1	1993	KY/AS	Application of flow cytometry to rapid microbial analysis in food and drinks industries.	Laplace-Builhé ve ark., 1993
2	1994	KY/AS	Rapid determination of antifungal activity by flow cytometry.	Green ve ark., 1994
3	1998	İMBA/AS	Rapid detection of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 using immuno-magnetic flow cytometry in ground beef, apple juice, and milk.	Seo ve ark., 1998
4	2000	KY/MY/AS	A flow cytometry method for rapid detection and enumeration of total bacteria in milk.	Gunasekera ve ark., 2000
5	2001	KY/AS	Rapid detection of viable yeasts and bacteria in wine by flow cytometry.	Malacrinò ve ark., 2001
6	2002	KFS/AS	Rapid detection of single cell bacteria as a novel approach in food microbiology	Haese ve Nelis, 2002
7	2003	KY/AS	Potential for broad applications of flow cytometry and fluorescence techniques in microbiological and somatic cell analyses of milk.	Gunasekera ve ark., 2003
8	2008	KY/AS/L	Flow-cytometric total bacterial cell counts as a descriptive microbiological parameter for drinking water treatment processes.	Hammes ve ark., 2008
9	2009	AS	Flow cytometry applications in the food industry.	Comas-Riu ve Rius, 2009
10	2015	KY/AS	Effect of salt on cell viability and membrane integrity of <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> and <i>Bifidobacterium longum</i> as observed by flow cytometry.	Gandhi ve Shah, 2015
11	2015	KY/AS	Level 2 validation of a flow cytometric method for detection of <i>Escherichia coli</i> O157:H7 in raw spinach.	Williams ve ark., 2015
12	2015	KY/MY/AS	The use of flow cytometry to accurately ascertain total and viable counts of <i>Lactobacillus rhamnosus</i> in chocolate.	Raymond ve Champagne, 2015
13	2015	AS	Flow cytometry and pathogen screening in foods. In High Throughput Screening for Food Safety Assessment: Biosensor Technologies, Hyperspectral Imaging and Practical Applications.	Taitt ve North, 2015
14	2016	KY/AS	The effects of orange juice clarification on the physiology of <i>Escherichia coli</i> ; growth-based and flow cytometric analysis.	Anvarian eve ark., 2016
15	2017	AS	Application of flow cytometry to wine microorganisms.	Longin ve ark., 2017
16	2018	AS	Investigation of damage to <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> and <i>Salmonella enteritidis</i> exposed to <i>Mentha arvensis</i> L. and <i>M. piperita</i> L. essential oils in pineapple and mango juice by flow cytometry.	de Sousa Guedes ve de Souza, 2018
17	2019	AS/PCR	Compositional assessment of bacterial communities in probiotic supplements by means of metagenomic techniques.	Lugli ve ark., 2019
18	2020	KY/AS	Next-generation multiparameter flow cytometry assay improves the assessment of oxidative stress in probiotics.	Fallico ve ark., 2020
19	2020	KY/AS	A novel pharmaceutical approach for the analytical validation of probiotic bacterial count by flow cytometry.	Michelutti ve ark., 2020
20	2021	KY/AS	Bacillus spore enumeration using flow cytometry: A proof of concept for probiotic application.	Genovese ve ark., 2021
21	2021	AS	Potential of flow cytometric approaches for rapid microbial detection and characterization in the food Industry—a review.	Zand ve ark., 2021
22	2022	KY/AS/RT-PCR	An Integrated Analytical Approach for the Characterization of Probiotic Strains in Food Supplements.	Bolzon ve ark., 2022
23	2022	AS/PCR	The Probiotic Identity Card: A Novel “Probiogenomics” Approach to Investigate Probiotic Supplements.	Lugli ve ark., 2022
24	2023	KY/AS	Insights into the enumeration of mixtures of probiotic bacteria by flow cytometry.	Tracey ve ark., 2023
25	2023	GAS/KY	Imaging Flow Cytometry Demonstrates Physiological and Morphological Diversity within Treated Probiotic Bacteria Groups.	Kieps ve ark., 2023
26	2023	KY/AS	Multiparameter flow cytometric enumeration of probiotic-containing commercial powders.	Sielatycka ve ark., 2023
27	2024	AS	Optimization of the flow cytometry method of detection, quantification and qualification of microorganisms in carrot juice.	Ratajczak ve ark., 2024
28	2025	KY/AS	Rapid and accurate flow cytometric enumeration of viable <i>Listeria monocytogenes</i> in beef via propidium monoazide and fluorescent molecular probe.	Liu ve ark., 2025
29	2025	KY/MY/AS	Analysis of vegetative cells and spore germination in food using flow cytometry.	Kawai ve Nakano, 2025
30	2025	AS	Flow Cytometry in Microbiology: A Review of the Current State in Microbiome Research, Probiotics, and Industrial Manufacturing.	Śliwa-Dominiak ve ark., 2025

AS: Akış Sitometri, KY: Kültürel Yöntem, İMBA: İmmünomanyetik Boncuk Ayırma, MY: Mikroskop Yöntemi, KFS: Katı Faz Sitometrisi, L: Luminometre, PCR: Polimeraz Zincir Reaksiyonu, RT-PCR: Gerçek Zamanlı Polimeraz Zincir Reaksiyonu, GAS: Görüntüleme Akış Sitometrisi, AS: Flow Cytometry, KY: Cultural Method, İMBA: Immunomagnetic Bead Separation, MY: Microscope Method, KFS: Solid Phase Cytometry, L: Luminometry, PCR: Polymerase Chain Reaction, RT-PCR: Real-Time Polymerase Chain Reaction, GAS: Imaging Flow Cytometry

Çizelge 2. Akış sitometri tekniğinin gıda sektörü açısından üstünlük ve sorunları

Table 2. Advantages and disadvantages of flow cytometry technique in the food industry

Üstünlükler	Sorunlar
Hızlı sonuç verme	Süspansiyon gerekliliği
Sayım sonucu alabilme	Profesyonel kullanıcı ihtiyacı
Hücreleri fiziksel olarak ayırt edebilme	Otofloresan riski
Saf hücre elde edebilme	Spesifik olmayan bağlanma
Duyarlılık	
Canlı-ölü hücre ayırımı yapabilme	
Pratiklik ve kolaylık	
Az örnek kullanma	
Besiyerine ihtiyaç olmaması	
Geliştirilebilir olması	
Daha az değişkenlik (standart sapma)	
Morfolojik özellikler açısından veri elde edilmesi	

Su, içilerek tüketilmesinin dışında birçok gıda maddesinin temizlenmesinde ve işlenmesinde de kullanılmaktadır. Bu nedenle su kalitesinin belirlenmesi ve güvence altına alınması gıda endüstrisi açısından büyük önem taşımaktadır. Güvenli ve etkili su arıtımı, dağıtımı ve yeniden kullanımının sağlanması vb. aşamalarda su kaynaklı mikropların belirlenmesi ve izlenmesi için güvenilir yöntemler gerekmektedir. Geleneksel kültür yöntemlerine kıyasla, akış sitometri canlı ve ölü hücrelerin ayırımı, hücre metabolizma aktivitelerinin değerlendirilmesi ve düşük konsantrasyonlardaki mikroorganizmaların tespiti gibi avantajlar sağlamaktadır.

Canlı ve ölü hücrelerin ayırt edilmesinde, genellikle floresan boyalar (ör. propidyum iyodür, SYBR® Green I vb.) kullanılarak hücre membran bütünlüğü, membran potansiyeli ve esteraz aktivitesi analiz edilir (Berney ve ark., 2007). Canlılığın belirlenmesinin yanı sıra akış sitometri doğal su kaynaklarında bulunan mikroorganizma topluluklarının kompozisyonunu belirlemek için de kullanılır. Özellikle, bakteri ve alg türlerinin hızlı sınıflandırılması yapılabilmektedir (Van Nevel ve ark., 2013). Böylece su ekosistemlerinin mikrobiyal kalitesini ve biyolojik çeşitliliğini değerlendirmek mümkün olmaktadır. Aynı zamanda akış sitometri, özellikle içme suyu sistemlerinde mikrobiyal kontaminasyonun hızlı bir şekilde tespiti için uygulanmaktadır. Bu teknoloji, *Legionella* spp., *Escherichia coli* gibi patojenlerin izlenmesinde ve mikrobiyal yükün ölçülmesinde etkili sonuçlar vermektedir (Wang ve ark., 2010).

Bilgisayar teknolojisi, istatistik ve matematik modellemedeki gelişmeler yüksek çözünürlüklü akış sitometri parmak izlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler, içme suyunun kaynağından musluğa ulaşana kadar anlık olarak çevrim içi izlenmesi açısından önem taşımaktadır. Elde edilecek büyük veri, yapay zekâ ve makine öğrenmesi yoluyla değerlendirilerek sorunlar önceden tahmin edilebilecektir. Buna bağlı olarak akış sitometri ile su dezenfeksiyon işlemlerinin etkisi de izlenebilmektedir (Claveau ve ark., 2024, 2024a; Pluym ve ark., 2024). İçme suyu dağıtım hatları gibi karmaşık ekosistemlerde bakterilerin yanı sıra, virüsler, bakteriyofajlar, protozoa ve yüksek canlılar bulunabilmektedir. Ancak güncel uygulamalarda bunlar izlenmemekte ve halk sağlığı sorunlarına yol açabilmektedir. Bu açıdan akış sitometri uygulamalarının potansiyeli yüksek görülmeyle birlikte bazı sorunları da

içermektedir. Çevresel ve klinik örneklerde akış sitometri ile virüs sayımı (akış virometri) yaygınlaşmakla birlikte, su örneklerinde standart akış sitometri analizlerinin kesinliği ve duyarlılığı ile ilgili yeterli araştırma bulunmamaktadır. Dlusskaya ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada su örneklerinde virüs sayımının doğru şekilde yapılabilmesi için virüslerin su matrisinden ayrılarak virüs içermeyen tampon çözeltilere aktarılması gerektiği bildirilmiştir. Akış sitometride kullanılan arka plan maddeleri ve SYBR green boyası ile tepkimeye giren virüs benzeri kolloit yapılar hatalı pozitif sonuçlara yol açmıştır. Araştırmada standart akış sitometri uygulamaları ile küçük genom boyutuna sahip (<150 kbp) insan enterik virüsleri ve bakteriyofalar belirlenemediğinden bu yöntemin doğadan alınan su örneklerinde virüs sayımına uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Daha sonra yapılan çeşitli çalışmalarda bu soruna çözüm oluşturulması açısından bazı yöntemler denenmiştir. Örneğin Hayes ve ark. (2023) granüler aktif karbon kullanarak eğlence amaçlı yararlanılan bir gölde enterik olan ve olmayan sekiz patojenik virüsün varlığını belirlemiştir. Bu yöntemle virüslerin örnek alınan yerde sudan ayrılması sağlandığı gibi klasik yöntemlere göre daha başarılı sonuç elde edilmiştir. Göle adenovirüsün en yaygın virüs olduğu, ardından sınırsız virüsü, norovirüs, enterovirüs, influenza A, SARS-CoV-2 ve rotavirüsün geldiği bulunmuştur. Virüs varlığı su boru hatlarında da izlenebilmektedir. Safford ve ark. (2023) tarafından atık su boru hatlarında virüs varlığının akış virometri ile anlık olarak izlenmesine olanak sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle ilaveten elde edilen verilerin değerlendirilmesinde bir kümeleme (clustering) algoritmasından yararlanılarak atık su matrisinde virüslerin doğru şekilde belirlenmesi sağlanmıştır.

Akış sitometri çeşitli örneklerde protozoa belirlenmesi ve sayımı için de kullanılmaktadır. Ancak içme suyunda patojenik protozoanın belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Luo ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, içme suyunda *Cryptosporidium* ve *Giardia*'nın yüksek verimli tespiti için derin öğrenme destekli bir görüntüleme akış sitometri sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin %99.6'nın üzerinde bir sınıflandırma doğruluğu, %97.37 duyarlılık ve %99.95 özgüllük elde edebildiği ve saniyede 346 karelik yüksek hızlı analiz yeteneğine sahip olduğu ileri sürülmüştür.

Akış sitometri ile çeşitli su kaynaklarında algler ve oluşturdukları toksinlerin belirlenmesi de mümkün olmaktadır. Akış sitometri ile su örneklerinde alglere yönelik çalışmalarda su kaynaklarındaki alg popülasyonları izlenerek su kalitesi açısından oluşacak sorunlar erken tespit edilebilmektedir. Buna ilaveten alg sayımı yapılabilmekte ve türleri belirlenebilmekte, su ortamındaki toksin maddelerin algler üzerindeki etkileri incelenebilmektedir (Güner, 2012). Aynı zamanda akış sitometri, hücrelerin boyut, granülarite ve floresan özelliklerini ölçerek, alglerin toksin üretim süreçlerini ve çevresel stres faktörlerine tepkilerini değerlendirmede kullanılır. Özellikle, toksin üreten alg türlerinin tespiti ve izlenmesinde bu teknikten yararlanır. Mirasbekov ve ark. (2021)'nin yaptığı çalışmada Ural Nehri'nden alınan su örneklerinde toksik alg türlerinin tespiti için görüntüleme akış sitometri ve moleküler biyolojik tekniklerden yararlanılmıştır. Akış sitometri ile örneklerdeki baskın alg türlerinin tanısı yapılmıştır. RT-PCR ile de bu baskın türlerde mikrosistin ve saksitoksin üretiminden sorumlu genlerin varlığı belirlenmiştir. Su ürünleri üreticiliği açısından toksin üreten alglerin yaratacağı riskler vurgulanmıştır.

LAB'ye Yönelik Akış Sitometri Çalışmaları

Tüketiciler yaşam kalitelerini korumak veya geliştirmek için ilaçlara alternatif yaklaşımlar aradıkça probiyotik içeren gıdalar ve gıda takviyesi olarak probiyotikler en popüler biyoaktif ürün kategorilerinden biri haline gelmiştir. Probiyotik olarak kullanılan bakterilerin çoğunluğunu LAB oluşturmaktadır. Bu bakteriler aynı zamanda peynir, yoğurt gibi süt ürünlerinin, sucuk, pastırma gibi et ürünlerinin, turşu, salamura yaprak gibi sebze ürünlerinin fermentasyonunu gerçekleştirmektedir. Bu fermente gıdaların mililitresinde ya da gramında $\leq 10^6$ kob LAB bulunduğundan, LAB'nin akış sitometri ile belirlenmesi patojenlerin saptanmasından daha kolay olmaktadır. Hücre sayısının doğru belirlenmesi açısından fermente gıdalardan alınan örnekler seyreltilirken, patojen analizi için gıda örneklerinin konsantre edilmesi gerekir.

Gerek gıda fermentasyonlarını gerçekleştiren gerekse probiyotik özelliklere sahip olan LAB'ye yönelik akış sitometri çalışmalarında temel olarak canlılığın belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla akış sitometri ile yapılan bazı çalışmalarda metabolik aktivite (hücre içi çeşitli enzim aktiviteleri) incelenirken, bazılarında ise membran geçirgenliğinin belirlenmesi yoluyla canlılık incelenmiştir. Akış sitometri sonuçlarının doğrulanmasında kültürel yöntemle canlı hücre sayımından yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra akış sitometri probiyotik ürünlerin kalite kontrolü, endüstriyel olarak probiyotiklerin üretilmesi sırasında da kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma, püskürtük kurutma, mikroenkapsülasyon gibi teknolojik işlemlerin yarattığı stres koşullarına dayanıklılık ve endüstriyel fermentasyon süreçlerinin optimizasyonuna yönelik analizlerde yararlanılmaktadır. Aşağıda bunlardan bazıları özetlenmiştir.

Bunthof ve Abee (2002) süt, süt başlatıcı kültürleri ve probiyotik ürünlerdeki LAB'nin canlılığını iki farklı boya kullanarak incelemiştir. Enzimatik aktiviteye sahip canlı hücreleri boyayan cFDA ve membran geçirgenliği artmış ölü hücreleri boyayan TOTO-1 bu amaçla kullanılmıştır. cFDA canlı hücrelerde esteraz aktivitesi sayesinde floresan

sinyali üretirken, TOTO-1 ölü hücrelerin DNA'sına bağlanarak floresan sağlamaktadır. Sütte süspansiyon edilmiş *Lactiplantibacillus plantarum* WCFS 1'in canlılık düzeyi belirlenmiş ve canlılığın örnek hazırlama işlemlerinden etkilenmediği gösterilmiştir. Süt fermentasyon başlatıcı kültürleri ve probiyotik ürünlerde akış sitometri toplam hücre sayıları, kültürel yöntemle elde edilen sayım sonuçlarından önemli ölçüde yüksek tespit edilmiştir. Bunun nedeni akış sitometri ile üç farklı fonksiyonel popülasyonun belirlenebilmesidir. Bunlar; laboratuvar koşullarında üretilenler, üretilmeyenler ve membran geçirgenliği artmış olanlardır. Uygulanan yöntem fermentasyon başlatıcı kültürlerinde ve probiyotik ürünlerde farklı popülasyonların işlevselliğini değerlendirmeye elverişli bulunmuştur.

Hücre içi enzim aktivitelerinin analizi için de akış sitometriden yararlanılmaktadır. Peynir gibi ürünlerde üretim sürecinde laktik asit oluşumu açısından LAB başlatıcı kültür olarak kullanılmaktadır. Olgunlaşma sırasında ise bu suşlar canlılığını koruyamaz ve otoliz ile açığa çıkan Pep X gibi hücre içi peptidazlar üründe istenen lezzetin oluşumuna katkıda bulunur. Akış sitometri ile başlatıcı kültürlerin otoliz düzeylerinin belirlenmesi Pep X, Laktat Dehidrogenaz (LDH) vb. hücre içi enzimlerin aktivitesinin ölçülmesiyle mümkün olmaktadır (Wilkinson, 2016).

Probiyotiklere yönelik akış sitometri uygulamalarında ise temel olarak canlı hücre sayısının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Probiyotiklerin sağlık üzerine beklenen yararlarını gösterebilmesi açısından canlı hücre sayıları önem taşımaktadır. Araştırmaların yanı sıra uluslararası kurumlar olan International Organization for Standardization (ISO) ve the International Dairy Federation (IDF) tarafından canlı hücre sayısının belirlenmesi için altın standart olarak kabul edilen kültürel sayım yönteminin yanı sıra akış sitometri de uygulanabilir bir yöntem olarak önerilmiştir. Bununla ilgili olarak hazırlanan "Süt ve süt ürünleri-başlatıcı kültürler, probiyotikler ve fermente ürünler-LAB'nin akış sitometri ile ölçülmesi" başlıklı belgede akış sitometride yararlanılmak üzere üç farklı boyama yöntemi verilmiştir (ISO 19344-IDF 232, 2015). Bu belgede önerilen yöntemlerden yararlanılarak piyasaya sunulmuş ticari bir probiyotikde *Lactobacillus rhamnosus* GG hücreleri incelenmiştir. Canlı hücre sayımının yanı sıra hasarlı ve ölü hücrelerin sayımı da yapılmıştır. Yöntem hızlı olması, alınan sonuçların doğruluğu ve kesinliği nedeniyle önerilmiştir (Pane ve ark. 2018). Benzer şekilde the International Council for Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use (ICH) yönergelerine uygun koşullarda probiyotiklerin depolama sırasında kararlılığının incelenmesi için de kültürel yöntemle sayım yapılmaktadır. Günümüz koşullarında ise metabolik aktivitenin analizi yoluyla sadece canlı ve ölü hücrelerin değil, canlı olan ancak laboratuvar koşullarında üretilmeyen hücrelerin belirlenmesi de önem taşımaktadır (Śliwa-Dominiak ve ark., 2025). Bu açıdan akış sitometri, ICH sistemi ile kalite kontrol değerlendirmesinde canlı hücrelerin sayılması açısından kültüre dayanmayan en uygun alternatif yöntem olarak bildirilmiştir. Bu değerlendirme probiyotiklerin canlı hücre sayısının akış sitometrik analiz ve kültürel sayım yöntemi ile belirlenmesi sonucunda yapılmıştır.

Akış sitometri, probiyotik sayımı için uygun bulunmasının yanı sıra, canlı ve cansız hücrelerin tanımlanmasına olanak vermesi, hücrelerin fizyolojik durumu ve metabolik aktivitesi hakkında da bilgi sağlaması ile üstünlük taşımaktadır. Bu nedenle probiyotiklerin kalite kontrolünde kültürel sayıma kıyasla akış sitometri ile daha etkili sonuç alınmaktadır (Michelutti ve ark., 2020).

Bağırsak kökenli probiyotiklerin raf ömrü boyunca kararlılığı üzerinde oksijenin olumsuz etkisi vardır. Bu nedenle probiyotiklerde oksidatif stresin hızlı ve doğru şekilde izlenmesi önem taşımaktadır. Akış sitometri ile probiyotiklerde canlılık ve metabolik aktivitenin yanı sıra oksidatif stres de incelenebilmektedir. Bu analiz hem biyoproses optimizasyonu hem de kalite kontrolü açısından yararlıdır. Fallico ve ark. (2020) tarafından geliştirilen yeni nesil çok parametrelili yöntemle serbest toplam reaktif oksijen türleri (ROS) ve membran bütünlüğü eş zamanlı olarak ölçülebilmektedir. ROS için CellROX® Green ve membran bütünlüğünün analizi için Propidium Iodide problemleri kullanılmıştır. *Lactobacillus rhamnosus* GG'nin dondurarak kurutma, sprey kurutma ve H₂O₂'den kaynaklanan oksidatif stres durumu çok parametrelili yöntemle incelenmiştir. Kıyaslama amacıyla tek parametrelili ROS ve membran bütünlüğünün ölçümü de yapılmıştır. Çok parametrelili yöntemle membran bütünlüğünün ve oksidatif stresinin bir arada değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

Ticari probiyotiklerde sık karşılaşılan sorunlar ambalaj üzerinde belirtilen suşların içerikte bulunmaması, canlı hücre sayılarının yetersizliği ve bulaş etkenlerinin varlığıdır. Bu açıdan Lugli ve ark. (2022)'nin çalışması önem taşımaktadır. Araştırmacılar ticari probiyotiklerin yukarıda belirtilen özellikler açısından hızlı şekilde incelenmesini sağlamak için shotgun metagenomik dizileme ve akış sitometri ile gerçekleştirilebilecek Probiyotik Kimlik Kartı (PIC) adı verilen yeni bir yaklaşımı önermişlerdir. Bu şekilde, 12 ticari probiyotik değerlendirilmiş, mikrobiyal bileşim ve canlılıkları ile ilgili bilgilerin, 5 ürünün üzerinde bulunan formülasyon ile tutarsızlıkları ortaya çıkmıştır. PIC yaklaşımı aynı zamanda standart kültür temelli yaklaşımlar kullanılarak değerlendirilmesi zor olan birden fazla probiyotik suşunu kapsayan probiyotik takviyelerinin bileşimini incelemek ve hücre canlılığını doğrulamak için uygun bulunmuştur.

LAB dışındaki probiyotik özelliklere sahip bakterilere yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Son yıllarda *Bacillus* sp. suşları ticari probiyotik olarak ilgi görmektedir. Akış sitometri ile hem canlı bakteri hem de sporlarının miktarı belirlenebilmektedir. Bu amaçla LDS751/SYTO24 boyaları ile çift boyama yapılmıştır. Klasik yöntemle karşılaştırıldığında yöntemin üretim ve kalite kontrol sürecinin daha iyi kontrol edilmesine olanak sağlayacağı belirtilmiştir (Genovese ve ark., 2021).

Görüldüğü gibi akış sitometrinin hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle LAB'ye yönelik çalışmalarda kullanımı yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir.

Sonuç

Gıda mikrobiyolojisinin değişen ihtiyaçları doğrultusunda hızlı, hassas ve çok yönlü analiz tekniklerine duyulan gereksinim artmaktadır. Bu bağlamda akış sitometri, yalnızca mikrobiyal hücrelerin sayısal değerlendirmesini değil, aynı zamanda canlılık durumu,

metabolik aktivite ve membran bütünlüğü gibi fonksiyonel özelliklerin de belirlenmesini mümkün kılan güçlü bir analiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Probiyotik ürünlerde kalite kontrol, fermentasyon sürecinin takibi, su kaynaklarında mikrobiyal kontaminasyonun izlenmesi gibi çok sayıda alanda uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Yöntemin sunduğu avantajlara karşın; örnek hazırlama sürecinin standardizasyonu, floresan boya ve antikor temini gibi bazı teknik zorluklar ile cihaz kullanımında uzmanlık gereksinimi uygulama alanlarını kısıtlayabilmektedir. Bununla birlikte, yazılım ve görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, bu sınırlamaları aşma potansiyeline sahiptir. Özellikle kültüre dayalı yöntemlerle elde edilemeyen ancak fizyolojik olarak aktif olan hücrelerin belirlenmesine olanak tanıyan yapıyla akış sitometri, gıda güvenliğinde kritik bir tamamlayıcı araç konumundadır.

Sonuç olarak, akış sitometrisi; teknik olanakları, veri üretim kapasitesi ve çok parametrelili yaklaşımıyla, gıda mikrobiyolojisinde karar destek süreçlerine katkı sağlayabilecek güçlü bir araçtır. Ancak yöntemin etkin biçimde kullanılabilmesi için hem ekipman hem de kullanıcı düzeyinde belirli standartların sağlanması gerekmektedir.

Beyanlar

Veri Kullanılabilirliği

Makalede açıklanan araştırma için hiçbir veri kullanılmamıştır.

Yazar Katkı Beyanı

M.K.: Veri toplama, araştırma ve orijinal taslağın yazılması

A.G.K.Ç.: Araştırma, kavramsallaştırma, inceleme ve düzenleme

Fon Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir fon desteği bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Onay

Bu çalışma etik kurul onayı ve/veya yasal/özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- Achilles, J., Harms, H., & Müller, S. (2006). Analysis of living *S. cerevisiae* cell states - A three color approach. *Cytometry Part A*, 69(3), 173–177. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20212>
- Aebisher, D., Bartusik, D., & Tabarkiewicz, J. (2017). Laser flow cytometry as a tool for the advancement of clinical medicine. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 85, 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.11.048>
- Anvarian, A. H. P., Smith, M. P., & Overton, T. W. (2016). The effects of orange juice clarification on the physiology of *Escherichia coli*; growth-based and flow cytometric analysis. *International Journal of Food Microbiology*, 219, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.11.016>

- Azkur, A., & Aslan, M. E. (2012). Akış Sitometri ve Veteriner Hekimlikteki Uygulamaları. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 7(1), 59-66.
- Berney, M., Hammes, F., Bosshard, F., Weilenmann, H. U., & Egli, T. (2007). Assessment and interpretation of bacterial viability by using the LIVE/DEAD BacLight kit in combination with flow cytometry. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(10), 3283–3290. <https://doi.org/10.1128/AEM.02750-06>
- Bolzon, V., Pesando, M., Bulfoni, M., Nencioni, A., & Nencioni, E. (2022). An Integrated Analytical Approach for the Characterization of Probiotic Strains in Food Supplements. *Nutrients*, 14(23):5085. <https://doi.org/10.3390/nu14235085>
- Bonner. (1972). Fluorescence Activated Cell Sorting. *Rev. Sci. Instrum.*, 43, 404–409. DOI: 10.1063/1.1685647
- Bühligen, F., Lindner, P., Fetzer, I., Stahl, F., Scheper, T., Harms, H., & Müller, S. (2014). Analysis of aging in lager brewing yeast during serial repitching. *Journal of Biotechnology*, 187, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.07.002>
- Bunthof, C. J., & Abee, T. (2002). Development of a flow cytometric method to analyze subpopulations of bacteria in probiotic products and dairy starters. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(6), 2934–2942. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.6.2934-2942.2002>
- Claveau, L., Hudson, N., Jeffrey, P., & Hassard, F. (2024). Assessing microbial growth in drinking water using nucleic acid content and flow cytometry fingerprinting. *IScience*, 27(12), 111511. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111511>
- Claveau, L., Hudson, N., Jarvis, P., Jeffrey, P., & Hassard, F. (2024a). Microbial water quality investigation through flow cytometry fingerprinting: from source to tap. *Sustainable Microbiology*, 1(1), qvae003.
- Çetin, I., Çetin, A., Şen, A., Cimen, L., Çimen, B., Savas, G., Öztürk, A., & Koker, M. Y. (2018). Comparison of ELISA and flow cytometry for measurement of interleukin-1 beta, interleukin-6 and tumor necrosis factor- α . *Turkish Journal of Biochemistry*, 43(5), 540–548. <https://doi.org/10.1515/tjb-2017-0164>
- Comas-Riu, J., & Rius, N. (2009). Flow cytometry applications in the food industry. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36(8), 999–1011. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0608-x>
- Davis, C. (2014). Enumeration of probiotic strains: Review of culture-dependent and alternative techniques to quantify viable bacteria. *Journal of Microbiological Methods*, 103, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2014.04.012>
- De Roy, K., Clement, L., Thas, O., Wang, Y., & Boon, N. (2012). Flow cytometry for fast microbial community fingerprinting. *Water Research*, 46(3), 907–919. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.076>
- de Sousa Guedes, J. P., & de Souza, E. L. (2018). Investigation of damage to *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis* exposed to *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in pineapple and mango juice by flow cytometry. *Food Microbiology*, 76, 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.020>
- Díaz, M., Herrero, M., García, L. A., & Quirós, C. (2010). Application of flow cytometry to industrial microbial bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 48(3), 385–407. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.07.013>
- Doolan, I. A., Nongonierma, A. B., Kilcawley, K. N., & Wilkinson, M. G. (2014). Partitioning of starter bacteria and added exogenous enzyme activities between curd and whey during Cheddar cheese manufacture. *International Dairy Journal*, 34(1), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.07.005>
- Dunphy, C. H. (2004). Applications of flow cytometry and immunohistochemistry to diagnostic hematopathology. *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 128(9), 1004–1022. <https://doi.org/10.5858/2004-128-1004-aofcai>
- Egli, T. and Kotsch, S. (2015). Flow Cytometry for Rapid Microbiological Analysis of Drinking Water: From Science to Practice - An unfinished story. In: *Flow Cytometry in Microbiology Technology and Applications*. 175-216. <https://doi.org/10.21775/9781910190111.09>
- Elena Dlusskaya, Rafik Dey Peter, C. Pollard, N. J. A. (2021). Outer Limits of Flow Cytometry to Quantify Viruses in Water. *ACS Environmental Science: Water Research and Technology*, 1(5), 1127–1135. DOI: 10.1021/acestwater.0c00113
- Eva D'Haese, Hans J Nelis (2002). Rapid detection of single cell bacteria as a novel approach in food microbiology. *Journal of AOAC International*, 85(4), 979–983.
- Fallico, V., Rea, M., Stanton, C., Ilestam, N., & McKinney, J. (2020). Next-generation multiparameter flow cytometry assay improves the assessment of oxidative stress in probiotics. *Food Microbiology*, 91(April), 103501. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103501>
- Flow Cytometry Market Report, 2023. (2023). *No Title*. Flow Cytometry Market Report.
- Gandhi, A., & Shah, N. P. (2015). Effect of salt on cell viability and membrane integrity of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium longum* as observed by flow cytometry. *Food Microbiology*, 49, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.02.003>
- Genovese, M., Poulain, E., Doppler, F., Toussaint, R., & Boyer, M. (2021). Bacillus spore enumeration using flow cytometry: A proof of concept for probiotic application. *Journal of Microbiological Methods*, 190, 0–3. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106336>
- Green, L., Petersen, B., Steimel, L., Haebler, P., & Current, W. (1994). Rapid determination of antifungal activity by flow cytometry. *Journal of Clinical Microbiology*, 32(4), 1088–1091. DOI: 10.1128/jem.32.4.1088-1091.1994
- Gucker FT, Jr, O'Konski, C.T. (1947). A photoelectronic counter for colloidal particles. *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2422–2431. DOI: 10.1021/ja01202a053
- Gunasekera, T. S., Attfield, P. V., & Veal, D. A. (2000). A flow cytometry method for rapid detection and enumeration of total bacteria in milk. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(3), 1228–1232. DOI: 10.1128/AEM.66.3.1228-1232.2000
- Gunasekera, T. S., Veal, D. A., & Attfield, P. V. (2003). Potential for broad applications of flow cytometry and fluorescence techniques in microbiological and somatic cell analyses of milk. *International Journal of Food Microbiology*, 85(3), 269–279. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00546-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00546-9)
- Güner, U. (2012). Flow Sitometrinin Hidrobiyolojide Kullanımı. *Journal of Fisheries Sciences.Com*, 6(1), 9–17. <https://doi.org/10.3153/jfscom.2012002>
- Hulett, H. R., Bonner, W. A., Barrett, J. Herzenberg L.A. (1969). Cell sorting: automated separation of mammalian cells as a function of intracellular fluorescence. *Science*, 7;166(3906), 747–749. doi: 10.1126/science.166.3906.747.
- Hammes, F., Berney, M., Wang, Y., Vital, M., Köster, O., & Egli, T. (2008). Flow-cytometric total bacterial cell counts as a descriptive microbiological parameter for drinking water treatment processes. *Water Research*, 42(1–2), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.009>
- Hayes, William Michael, Voigt, Maria, Rosa, Isabel, Cort, Kerry Anne, K., & Nic, Kalamandeen, Michelle, Davies, Zoe G. and Bicknell, J. E. (2023). Predicting the loss of forests, carbon stocks and biodiversity driven by a neotropical 'gold rush'. *Kent Academic Repository*, 42–50. doi:10.1016/j.biocon.2023.110312
- Howard, M. S. (2001). New applications of Flow cytometry, microbiology. *Clinics in Lab. Med*, 21:, 897.
- ISO 19344:2015. (2015). *Milk and milk products — Starter cultures, probiotics and fermented products — Quantification of lactic acid bacteria by flow cytometry*.

- Jaroszeski, M.J., Heller, R. (1998). Flow Cytometry Protocols. In *Humana Press Inc Totowa, Nj.* (p. 91). Part of the book series: Methods in Molecular Biology (MIMB, volume 91)
- Kanev, M., & Gökalg Muranlı, F. (2016). Flow sitometri ve kullanım alanları. *Sakarya University Journal of Science*, 20(1), 33-38. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.45424>
- Karaboz, İ., Kayar, E., & Akar, S. (2008). Flow sitometri ve kullanım alanları, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi* 6 (2), 1-18
- Kawai, S., & Nakano, M. (2025). Analysis of vegetative cells and spore germination in food using flow cytometry. *Journal of Microbiological Methods*, 232–234, 107137. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2025.107137>
- Kiepiś, J., Juzwa, W., & Dembczyński, R. (2023). Imaging Flow Cytometry Demonstrates Physiological and Morphological Diversity within Treated Probiotic Bacteria Groups. *International Journal of Molecular Sciences*, 6;24(7):6841. <https://doi.org/10.3390/ijms24076841>
- Laane, E., Tani, E., Björklund, E., Elmberger, G., Everaus, H., Skoog, L., & Porwit-MacDonald, A. (2005). Flow cytometric immunophenotyping including Bcl-2 detection on fine needle aspirates in the diagnosis of reactive lymphadenopathy and non-Hodgkin's lymphoma. *Cytometry Part B - Clinical Cytometry*. <https://doi.org/10.1002/cyto.b.20043>
- Laplace-Builhé, C. Hahne, K. Hunger, W. Tirilly, Y. (1993). Application of flow cytometry to rapid microbial analysis in food and drinks industries. *Biology of the Cell*, 78(1-2):123-8. doi: 10.1016/0248-4900(93)90122-u.
- Leila Claveau, Neil Hudson, Peter Jarvis, Paul Jeffrey, F. H. (2024). Microbial water quality investigation through flow cytometry finger printing: from source to tap. *Sustainable Microbiology*, November, 223–225. <https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae003>
- Liu, S., Pang, H., Wang, Z., Wang, M., Wang, C., Zhang, L., Guo, W., Zhang, Y., Ye, C., Zhang, W., & Sui, Z. (2025). Rapid and accurate flow cytometric enumeration of viable *Listeria monocytogenes* in beef via propidium monoazide and fluorescent molecular probe. *Lwt*, 216(October 2024), 117290. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117290>
- Lloyd, D. (1993). Flow cytometry in microbiology Springer-Verlag, London, United Kingdom. *Springer- Verlag, London, United Kingdom*.
- Loken, M. R., Shah, V. O., Dattilio, K. L., & Civin, C. I. (1987). Flow cytometric analysis of human bone marrow. II. Normal B lymphocyte development. *Blood*, 70(5), 1316–1324. <https://doi.org/10.1182/blood.v70.5.1316.1316>
- Longin, C., Petitgonnet, C., Guilloux-Benatier, M., Rousseaux, S., & Alexandre, H. (2017). Application of flow cytometry to wine microorganisms. *Food Microbiology*, 62, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.023>
- Lugli, G. A., Longhi, G., Alessandri, G., Mancabelli, L., Tarracchini, C., Fontana, F., Turrone, F., Milani, C., Di Pierro, F., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2022). The Probiotic Identity Card: A Novel “Probiogenomics” Approach to Investigate Probiotic Supplements. *Frontiers in Microbiology*, Volume 12. Article 790881 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.790881>
- Lugli, G. A., Mangifesta, M., Mancabelli, L., Milani, C., Turrone, F., Viappiani, A., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2019). Compositional assessment of bacterial communities in probiotic supplements by means of metagenomic techniques. *International Journal of Food Microbiology*, 294(October 2018), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.011>
- Luo, S., Nguyen, K. T., Nguyen, B. T. T., Feng, S., Shi, Y., Elsayed, A., Zhang, Y., Zhou, X., Wen, B., Chierchia, G., Talbot, H., Bourouina, T., Jiang, X., & Liu, A. Q. (2021). Deep learning-enabled imaging flow cytometry for high-speed Cryptosporidium and Giardia detection. *Cytometry Part A*, 99(11), 1123–1133. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24321>
- Maecker, H. T., Rinfret, A., D'Souza, P., Darden, J., Roig, E., Landry, C., Hayes, P., Birungi, J., Anzala, O., Garcia, M., Harari, A., Frank, I., Baydo, R., Baker, M., Holbrook, J., Ottinger, J., Lamoreaux, L., Epling, C. L., Sinclair, E., ... Sekaly, R. P. (2005). Standardization of cytokine flow cytometry assays. *BMC Immunology*, 6, 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2172-6-13>
- Malacrinò, P., Zapparoli, G., Torriani, S., & Dellaglio, F. (2001). Rapid detection of viable yeasts and bacteria in wine by flow cytometry. *Journal of Microbiological Methods*, 45(2), 127–134. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(01\)00243-3](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(01)00243-3)
- McKinnon, K. M. (2018). Flow cytometry: An overview. *Current Protocols in Immunology*, 5.1.1-5.1.11. <https://doi.org/10.1002/cpim.40>
- Michelutti, L., Bulfoni, M., & Nencioni, E. (2020). A novel pharmaceutical approach for the analytical validation of probiotic bacterial count by flow cytometry. *Journal of Microbiological Methods*, 170(January), 105834. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105834>
- Mirasbekov, Y., Zhumakhanova, A., Zhantuyakova, A., Sarkytbayev, K., Malashenkov, D. V., Baishulakova, A., Dashkova, V., Davidson, T. A., Vorobjev, I. A., Jeppesen, E., & Barteneva, N. S. (2021). Semi-automated classification of colonial Microcystis by FlowCAM imaging flow cytometry in mesocosm experiment reveals high heterogeneity during seasonal bloom. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88661-2>
- Ormerod, M. (2000). Flow Cytometry, A practical approach. In *Third Edition, Oxford University Press, Oxford, UK*.
- Pane, M. (2013). Flow cytometry rapid quantification of probiotic bacteria in lyophilised cultures and commercial products. In *Nutrafoods* (pp. 35–37).
- Pane, M., Allesina, S., Amoroso, A., Nicola, S., Deidda, F., & Mogna, L. (2018). Flow Cytometry Evolution of Microbiological Methods for Probiotics Enumeration. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 52(December), S41–S45. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000001057>
- Picot, J., Guerin, C. L., Le Van Kim, C., & Boulanger, C. M. (2012). Flow cytometry: Retrospective, fundamentals and recent instrumentation. *Cytotechnology*, 64(2), 109–130. <https://doi.org/10.1007/s10616-011-9415-0>
- Pluym, T., Waegenaar, F., De Gussem, B., & Boon, N. (2024). Microbial drinking water monitoring now and in the future. *Microbial Biotechnology*, 17(7), 1–11. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14532>
- Ratajczak, K., Juzwa, W., & Piotrowska-Cyplik, A. (2024). Optimization of the flow cytometry method of detection, quantification and qualification of microorganisms in carrot juice. *Food Chemistry*, 460(P2), 140606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140606>
- Raymond, Y., & Champagne, C. P. (2015). The use of flow cytometry to accurately ascertain total and viable counts of *Lactobacillus rhamnosus* in chocolate. *Food Microbiology*, 46, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.07.002>
- Safford, H. R., Johnson, M. M., & Bischel, H. N. (2023). Flow virometry for water-quality assessment: protocol optimization for a model virus and automation of data analysis. *Npj Clean Water*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00224-2>
- Sam Van Nevel, Karen De Roy, Nico Boon (2013). Bacterial invasion potential in water is determined by nutrient availability and the indigenous community, *FEMS Microbiology Ecology* 85(3):593-603. doi: 10.1111/1574-6941.12145.
- Sarma, U., Bhattacharyya, J., & Hazarika, E. (2023). Comparative analysis of immunohistochemistry and flow cytometry in the diagnosis of acute leukaemia: a single centre study. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 11(3), 914–919. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20230573>

- Seo, K. H., Brackett, R. E., & Frank, J. F. (1998). Rapid detection of *Escherichia coli* O157:H7 using immuno-magnetic flow cytometry in ground beef, apple juice, and milk. *International Journal of Food Microbiology*, 44(1–2), 115–123. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00129-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00129-9)
- Sielatycka, K., Juzwa, W., Śliwa-Dominiak, J., Kaczmarczyk, M., Loniewski, I., & Marlicz, W. (2023). Multiparameter flow cytometric enumeration of probiotic-containing commercial powders. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Volme 68, 102598. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102598>
- Śliwa-Dominiak, J., Czechowska, K., Blanco, A., Sielatycka, K., Radaczyńska, M., Skonieczna-Żydecka, K., Marlicz, W., & Loniewski, I. (2025). Flow Cytometry in Microbiology: A Review of the Current State in Microbiome Research, Probiotics, and Industrial Manufacturing. *Cytometry Part A*, 145–164. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24920>
- Söbeli, C., & Kayaardı, S. (2014). Et Kalitesini Belirleme Yeni Teknikler. *Gıda*, 39(4), 251-258.
- Steen, H. B., Boye, E., Skarstad, K., Bloom, B., Godal, T., & Mustafa, S. (1982). Applications of flow cytometry on bacteria: Cell cycle kinetics, drug effects, and quantitation of antibody binding. *Cytometry*, 2(4), 249–257. <https://doi.org/10.1002/cyto.990020409>
- Taıtt, C. R., & North, S. H. (2015). Flow cytometry and pathogen screening in foods. In *High Throughput Screening for Food Safety Assessment: Biosensor Technologies, Hyperspectral Imaging and Practical Applications*. Elsevier Ltd. Pages 195-218, <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-801-6.00008-3>
- Taneli, F. (2007). "Flow" Sitometri Tekniđi ve Klinik Laboratuvarlarda Kullanımı *Methodology of Flow Cytometry and Its Role in Clinical Laboratory*. 5(2), 75–82.
- Tracey, H., Coates, N., Hulme, E., John, D., Michael, D. R., & Plummer, S. F. (2023). Insights into the enumeration of mixtures of probiotic bacteria by flow cytometry. *BMC Microbiology*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02792-2>
- Uehlinger, F. D., Barkema, H. W., O’Handley, R. M., Parenteau, M., Parrington, L. J., VanLeeuwen, J. A., & Dixon, B. R. (2008). Comparison of flow cytometry and immunofluorescence microscopy for the detection of *Giardia duodenalis* in bovine fecal samples. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 20(2), 178–185. <https://doi.org/10.1177/104063870802000206>
- Van Dilla M.A., Truiullo, T.T., Mullaney P.F., Coulter J.R. (1969). Cell Microfluorometry: A Method for Rapid Fluorescence Measurement. *Science*, 163(3872), 1213–1214. doi: 10.1126/science.163.3872.1213.
- Van Dilla, M.A., Gledhill, B.L., Lake, S., Dean, P.N., Gray, J.W., Kachel, V., Barlogie, B., (1977). Measurement of mammalian sperm deoxyribonucleic acid by flow cytometry. Problems and approaches. *J Histochem Cytochem.*, 25(7), 763–773. doi: 10.1177/25.7.70455.
- Van Dilla, M.A., Langlois, R.G., Pinkel, D. (1983). Bacterial characterization by Flow cytometry. *Science*, 220, 620. DOI: 10.1126/science.6188215
- Wenisch, C., Linnau, K. F., Parschalk, B., Zedtwitz-Liebenstein, K., & Georgopoulos, A. (1997). Rapid susceptibility testing of fungi by flow cytometry using vital staining. *Journal of Clinical Microbiology*, 35(1), 5–10. <https://doi.org/10.1128/jcm.35.1.5-10.1997>
- Deirdre Kennedy, Martin G Wilkinson (2017). Application of Flow Cytometry to the Detection of Pathogenic Bacteria. *Current Issues in Molecular Biology*, 23, 21–38. DOI: 10.21775/cimb.023.021
- Wilkinson, M. G. (2018). Flow cytometry as a potential method of measuring bacterial viability in probiotic products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 78(May), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.006>
- Williams, A. J., Cooper, W. M., Summage-West, C. V., Sims, L. M., Woodruff, R., Christman, J., Moskal, T. J., Ramsaroop, S., Sutherland, J. B., Alusta, P., Wilkes, J. G., & Buzatu, D. A. (2015). Level 2 validation of a flow cytometric method for detection of *Escherichia coli* O157:H7 in raw spinach. *International Journal of Food Microbiology*, 215, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.011>
- Xue, Y., Wilkes, J. G., Moskal, T. J., Williams, A. J., Cooper, W. M., Nayak, R., Rafii, F., & Buzatu, D. A. (2016). Development of a flow cytometry-based method for rapid detection of *Escherichia coli* and *Shigella* spp. using an oligonucleotide probe. *PLoS ONE*, 11(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150038>
- Yanachkina, P., McCarthy, C., Guinee, T., & Wilkinson, M. (2016). Effect of varying the salt and fat content in Cheddar cheese on aspects of the performance of a commercial starter culture preparation during ripening. *International Journal of Food Microbiology*, 224, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.006>
- Yingying Wang, Lieve Claeys, David van der Ha, W. V. & N. B. (2010). Effects of chemically and electrochemically dosed chlorine on *Escherichia coli* and *Legionella beliardensis* assessed by flow cytometry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(1), 331–341. DOI: 10.1007/s00253-010-2526-2
- Zand, E., Froehling, A., Schoenher, C., Zunabovic-Pichler, M., Schlueter, O., & Jaeger, H. (2021). Potential of flow cytometric approaches for rapid microbial detection and characterization in the food industry—a review. *Foods*, 10(12), 1–43. <https://doi.org/10.3390/foods10123112>