

Derleme Makale/Review Paper

Fonksiyonel gıdalar ve sağlık: Parabiyotikler ve postbiyotiklerin rolü ve etkileri

Functional foods and health: Role and effects of parabiotics and postbiotics

Evra Sarı^{1*} , Mehmet Saruışık² 

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, SAKARYA, TÜRKİYE

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, SAKARYA, TÜRKİYE
(Yazar sıralamasına göre/By author order)

ORCID ID: 0000-0002-8120-1589 -Doktora Öğrencisi

ORCID ID: 0000-0002-0681-6137-Prof. Dr.

*Sorumlu yazar/Corresponding author: 23503009005@subu.edu.tr

Geliş Tarihi : 01.10.2024

Kabul Tarihi : 03.02.2025

Öz

Amaç: Bu çalışmanın temel amacı, tüketicilerin hem besin ihtiyacını karşılayan hem de sağlığa olan katkıları ile bilinen fonksiyonel gıdaların yapısını, içeriğini ve sağlığa yönelik etkilerini güncel araştırmalarla incelemektir. Fonksiyonel gıdalar, yalnızca açlık hissini gidermekten öte bireylerin sağlığını desteklemekte ve sağlık yaşam trendleri ile uyum içinde, lezzet ve sağlık arasında denge kurmakta ve bu haliyle de mutfaklarda kendine genişçe yer bulmaktadır. Böylelikle hem sağlığı koruyan hem de damak zevkine hitap eden ürünler ortaya çıkmaktadır. Fonksiyonel gıdalara son zamanlarda yapılan araştırmalarda katılan parabiyotikler ve postbiyotikler de bu alanın zenginleşmesine katkıda bulunmaktadır. Yapılan güncel çalışmalarda, postbiyotikler ve parabiyotikler sağlıklı mikrobiyotaya özgü biyolojik tepkileri doğrudan gösterebilen yeni bileşikler olarak belirtilmektedir. Doğal olarak birçok gıda ürününde bulunan biyotikler içerdiği sağlık bileşenleri ile mutfaklarda da kendilerine yer bulmaktadır.

Sonuç: Bu derleme çalışmasında, sağlığa yararlı etkileri ile bilinen fonksiyonel gıdaların genel özellikleri, hastalıklar üzerindeki etkileri, fonksiyonel özellik içeren doğal gıdalar ve kullanılabilirliği ile ilgili yapılan güncel araştırmalar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: fonksiyonel gıdalar; parabiyotikler; postbiyotikler; sağlık

Abstract

Objective: The main objective of this study is to examine the structure, content and health effects of functional foods that meet the nutritional needs of consumers and are known for their contribution to health with current research. Functional foods support the health of individuals beyond satisfying the feeling of hunger and balance between flavor and health in harmony with health life trends and thus find a wide place in the kitchens. Thus, products that both protect health and appeal to the palate are emerging. Parabiotics and postbiotics added to functional foods in recent studies also contribute to the enrichment of this field. In current studies, postbiotics and parabiotics are stated as new compounds that can directly show biological responses specific to healthy microbiota. Biotics, which are naturally found in many food products, find their place in the kitchens with the health components they contain.

Conclusion: In this review study, the general characteristics of functional foods known for their beneficial effects on health, their effects on diseases, natural foods containing functional properties and current research on their availability were examined.

Keywords: functional foods; parabiotics; postbiotics; health

1. Giriş

Son zamanlarda tüketicilerin beslenme ve sağlık ilişkisi konusunda daha bilinçli hale gelmesiyle beraber sağlıklı gıdaları satın alma eğilimi de artmaktadır. Bu nedenle fonksiyonel özelliklere sahip gıda ürünlerine yönelik talep artmaktadır. Fonksiyonel gıdalar arasında; probiyotikler, prebiyotikler ve sinbiyotikler yer almaktadır. Probiyotikler, genel olarak bağırsak mikrobiyotasını iyileştiren canlı mikroorganizmalardır ve yoğurt, peynir, dondurma, meyve suları ve unlu mamuller gibi çeşitli gıda ürünlerinde potansiyel probiyotikler bulunabilmektedir (Gu vd., 2022; Thorakkattu vd., 2022). Çoğu probiyotik peynirde, probiyotik özellik taşıyan laktik asit bakterileri olarak *Bifidobakteriler*, *Lactobacillus paracasei* spp. *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactobacillus rhamnosus* gibi türler kullanılmaktadır. Günümüzde *Enterococcus* türleri de bu gruba dahil edilmektedir (Erik ve Ormancı, 2022). Meyve ve sebze kaynaklı probiyotik ürünlerin formülasyonunda da genellikle, *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. brevis*, *L. pentose*, *L. pontius*, *L. acetotolerans* ve *L. sanfrancisco* gibi *Lactobacillus* türleri ile birlikte *Bifidobacterium lactis*, *B. bifidum*, *B. breve* ve *B. longum* ve *B. infantis* türleri probiyotik starter kültür olarak yaygın kullanım alanına sahiptir (Şengün ve Yahşi, 2021). Prebiyotikler bağırsak mikrobiyotası tarafından parçalanan, insan sağlığına olumlu katkılarda bulunan bir besindir. Sinbiyotikler ise, insan sağlığına fayda sağlayacak şekilde işlev gören probiyotik ve prebiyotik kombinasyonudur. Bununla beraber son yıllarda parabiyotikler (probiyotiklerin inaktif hücreleri) ve postbiyotikler (probiyotiklerin metabolitleri) terimleri literatürde yer almaktadır (Thorakkattu vd., 2022). Parabiyotikler yeterli miktarda alındığında tüketicilere fayda sağlayan, intaktive edilmiş, mikrobiyel hücrelerdir. Postbiyotikler ise, canlı bakteriler tarafından salgılanan ya da bakteri lizisinden (ürünler veya metabolik yan ürünler) sonra açığa çıkan, tüketiciye olumlu katkılar sağlayan metabolitlerdir. Probiyotik, prebiyotik, sinbiyotik ve postbiyotiklerin birlikte olduğu bir ürün bebek mamalarıdır. *Bifidobacterium breve* ve *Streptococcus thermophilus* gibi mikroorganizmalar fermente bebek gıdalarının üretiminde kullanılmaktadır. Burada özellikle postbiyotiklerin, bağırsak mikrobiyotasını anne

sütü ile beslenen bebeklerinkine benzer hale getirdiği yapılan çalışmalar ile ifade edilmektedir. Postbiyotiklerin cansız olmaları sebebiyle probiyotik takviyelere göre daha fazla stabilite sunduğu belirtilmektedir. Fermente gıdalarda postbiyotik mikroorganizmalar odak noktası olmuştur. Bunlar arasında süt ürünlerinden; yoğurt, peynir, ekşi krema, ayran ve kefir, et ürünlerinden; sucuk ve salam, diğer gıda türlerinden; turşu, lahana turşusu, meyve likörleri, elma sirkesi, tahıl gruplarından; ekmek, natto, tempeh, miso ve balık ile fermente edilen kimchi gibi gıdalar yer almaktadır (Islam vd., 2024). Postbiyotikler genellikle *Lactobacilla* familyasına ait bazı türlerin veya *Bifidobacterium* cinsine bağlı canlılığını yitirmiş mikroorganizma suşlarının ürünlerini içermektedir. Bunların yanı sıra *Pedicoccus*, *Streptococcus* ve *Lactobacillus* gibi laktik asit bakterileri de bakteriyosin adı verilen antimikrobiyel bileşenleri sentezlemektedir. Özellikle fermente süt ürünlerinde; peptidoglikanlar, laktik asit, bakteriyosinler ve diğer postbiyotik özellik taşıyan metabolitler, bu bakteriler tarafından üretilmektedir. Kefir, yoğurt, turşu ve salamura sebzeler gibi fermente edilmiş gıdalar ise postbiyotik açısından zengin doğal kaynaklardır (Nurko ve Nakilcioğlu, 2023). Yoğurt, lahana turşusu ve kombu çayı gibi gıdalar doğal parabiyotik ve postbiyotik kaynaklarıdır (Cuevas-González vd., 2020). Bunların yanı sıra gıda takviyelerinde de postbiyotik kullanımı önemli bir kategori oluşturmaktadır (Islam vd., 2024).

2. Fonksiyonel gıdalar

Günümüzde, tüketicilerin diyet ve sağlık arasındaki ilişkinin önemini kavramaları beslenme ve yaşam tarzlarında değişiklikler yapmasını sağlamıştır. Dolayısıyla tüketiciler istenilen kalite ve işlevselliğe sahip, doğal ve sağlıklı gıda ürünlerine daha fazla eğilim göstermektedir. Bu bilincin ortaya çıkmasıyla beraber üreticiler, tüketicilerin hem spesifik ihtiyaçlarını karşılayacak hem de sağlıklı olan gıda ürünlerinin tasarlanmasını önemli bir faktör olarak görmektedir (Manzoor vd., 2020). Bu bağlamda son yıllarda belirli yararlı fizyolojik etkilerle tüketici sağlığına katkıda bulunan gıdalar olarak tanımlanan fonksiyonel gıdalara yönelik büyük bir eğilim gözlenmektedir (Frakolaki vd., 2021).

Fonksiyonel gıda terimi ilk olarak Japonya'da oluşturulmuş ve bu gıda ürünlerini piyasaya sunan ve yasa çıkaran ilk ülke de Japonya olmuştur (Khalaf vd., 2021). 1980'lerde gıda ve bileşenleri üzerine çalışmalar yapan Japonya, fonksiyonel gıdaları *gıdaların üçüncül işlevi* olarak adlandırmıştır. Gıdaların ilk işlevi beslenme, ikinci işlevi duygusal tatmin ve üçüncü işlevi de bağışıklık, endokrin, sinir, dolaşım ve sindirim sistemleri gibi insan fizyolojisini doğrudan etkileyen anlamına geldiği ifade edilmiştir. Bu özellikleriyle, fonksiyonel gıda kavramı Japon hükümeti tarafından *belirli sağlık beyanlı gıdalar (FOSHU)* sistemine entegre edilmiştir (Ohama vd., 2006).

Fonksiyonel gıda, temel beslenmenin ötesinde sağlığı iyileştirebilen herhangi bir gıda veya gıda bileşeni olarak tanımlanmaktadır. Bu gıdalar, beslenme etkilerinin ötesinde fizyolojik işlevler sağlamakta ve çeşitli hastalıkların oluşum riskini azaltmaktadır. Dolayısıyla fonksiyonel gıdalar, hastalıkları önlemek veya tedavi etmek amacıyla ortaya çıkmıştır (Khalaf vd., 2021). Fonksiyonel gıdalar geleneksel gıdalara benzer bir görünüme sahip olan ve günlük diyetle dahil edilen gıda ürünleridir. Avrupa Birliği belgelerine göre, bir gıda ürünü vücutta hedeflenen bir ya da daha fazla işlev üzerinde olumlu etkisi bulunuyorsa o gıda fonksiyonel bir gıdadır. Fonksiyonel gıdalar, tipik gıdaların sağladığı etkilerin ötesinde sağlıkla ilişkili faydalar sunan eklenmiş bileşenler içermektedir. Bu tür gıdalar, bağışıklık sistemini güçlendirme, kalp-damar hastalıkları, osteoporoz, obezite ve bazı kanser türlerini azaltma, hafızayı ve fiziksel durumu iyileştirme gibi önemli roller üstlenmektedir (Topolska vd., 2021). (Bhoir vd., 2025) daha sağlıklı beslenmeye yönelik artan ilgi kapsamında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Buna göre; darı, baklagil ve yağlı tohum unları kullanarak protein açısından zengin pişirmeye hazır yassı ekmek premiksi geliştirmişlerdir. Premiks dengeli bir besin profili sunmakta ve yaklaşık %21 protein içeriğiyle birlikte 100 gramda 423 kcal enerji sağlamaktadır. Premiksin fenolik bileşik içeriği 0,98 mg kateşin/g olurken pişmiş halinin değeri 1,90 mg kateşin/g olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra DPPH radikal giderme yöntemiyle antioksidan değeri, premiks için gram başına 5,28 nmol, pişmiş üründe ise 4,82 nmol Trolox eşdeğeri olarak ölçülmüştür. Hidroksil radikali giderme aktivitesi ise premiks

için gram başına 4,38 μ mol iken pişmiş üründe bu değer 4,36 μ mol olarak belirlenmiştir. Çalışmada, uygulanan duyusal değerlendirme de tüketiciler tarafından olumlu olarak değerlendirilmiştir. BALB/c fareleriyle yaptıkları in vivo çalışmada ise, oksidatif stres düzeyleri veya bağışıklık fonksiyonu üzerinde herhangi bir olumsuz duruma rastlanılmadığı belirtilmiştir. Yassı ekmeğin, sağlıklı bir bağırsak yapısını mikrobiyota kompozisyonunu desteklediği ve hücrel oksidatif dengeyi sağladığı ifade edilmiştir. Hematolojik analizler neticesinde, beyaz kan hücresi ve lenfosit sayılarında artış gözlemlendiği ve bağışıklık sistemi dayanıklılığını arttırdığı belirlenmiştir. Böylelikle çalışmacılar, besin yoğunluğu ve fonksiyonel faydaları sayesinde yassı ekmek premiksinin beslenme alışkanlığını iyileştirdiğini ve yaşam tarzına bağlı sağlık sorunlarına pratik bir çözüm sunabileceğini ifade etmişlerdir. Fonksiyonel gıdalarda probiyotikler, prebiyotikler, prebiyotik benzeri içerikler, postbiyotikler ve biyoaktif bileşenler yaygın olarak bulunmaktadır (Peng vd., 2020). Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında sağlık faydası sağlayan canlı bakteriler iken, prebiyotikler, sindirilemeyen ve iyi bağırsak bakterilerini destekleyen karbonhidratlardır. Sinbiyotikler, probiyotik ve prebiyotiklerin birleşimiyle bağışıklık ve bağırsak sağlığını birlikte iyileştirmektedir. Postbiyotikler ise, probiyotik fermentasyonu sırasında oluşan biyolojik olarak aktif moleküller olup sağlığa faydaları ile bilinmektedir (Al-Habsi vd., 2024). Prebiyotikler, probiyotikler ve postbiyotikler mukozal zarların bağışıklık sisteminin ve bağırsak mikrobiyotasının bileşim ve işlevini değiştirerek sağlığı etkileyen değerli diyet bileşenlerindendir. Bunlar özellikle, epitel bariyerlerini güçlendirmekte patojenlerin, bağlanması engelleyerek ya da rekabetçi inhibisyon yoluyla dışlanması teşvik etmektedirler. Probiyotikler tüm bu sistemler üzerinde doğrudan etki gösterirken, prebiyotikler ve postbiyotikler etkilerini çoğunlukla mikrobiyota aracılığıyla dolaylı yoldan göstermektedir (Wang vd., 2025).

3. Probiyotikler

Son zamanlarda, insan sağlığını ve refahını arttırmak için tasarlanmış olan fonksiyonel gıdalara ilgi artmaktadır. Probiyotik içeren gıda ürünleri fonksiyonel gıdalar kategorisinde bulunmaktadır (Gu vd., 2022). Probiyotikler, “yeterli sayıda alındığında konakçının sağlığına

faýda sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmaktadır (Gu vd., 2022; Nagpal vd., 2012; Srednicka vd., 2021; Williams, 2010). Probiyotikler bu sağlık yararlarını çeşitli mekanizmalar aracılığıyla göstermektedir. Bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek ve bakterisidal maddelerin üretimi yoluyla bağırsakta bulunan patojenik bakterilerin kolonizasyonunu azaltabilmektedir. Kolesterol, lipid ve glukoz metabolizmasını düzenleyerek obezite ve bazı kronik hastalıkları önleyebilmektedir. Probiyotik ürünlerden bu sağlık yararlarını elde etmek için, tüketim öncesinde gıdaların içerisinde yeterli sayıda canlı mikroorganizmalar bulundurmak ve tüketim sonrasında da probiyotiklerin kolona ulaşmasını sağlamaktır (Gu vd., 2022). Geleneksel probiyotik mikroorganizmalar arasında bazı gastrointestinal hastalıkların tedavisinde faydalı etkilere sahip olan *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* bulunmaktadır. Bunların yanı sıra; *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, bazı *Bacillus* türleri ve *Saccharomyces* mayası da probiyotik mikroorganizmalar arasında yer almaktadır (Srednicka vd., 2021). Ancak geleneksel probiyotikler, kontaminasyon gibi kalite sorunları ve yetersiz canlı bakteri sayısı gibi eksiklikler taşımaktadır (Zhao vd., 2024). Yapılan in vitro çalışmalarla; *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii*, *Bacteroides fragilis*, *Eubacterium hallii* ve *Roseburia spp.* gibi bakteriler saf kültürleri elde edilmiştir. Bunlar, probiyotik ve konakçı sağlığı arasındaki temel mekanizmaların anlaşılmasını genişlettikleri için yeni nesil probiyotik olarak adlandırılmaktadır. Bu yeni nesil probiyotikler, geleneksel probiyotiklerden farklı olup, insanlarda bir hastalık veya hastalık durumunun önlenmesi, tedavisi veya iyileştirilmesinde uygulanabilmektedir (Zhang vd., 2022). *Akkermansia muciniphila* son yıllarda hastalık tedavilerinde yaygın olarak kullanılan ve gelecek vadeden bir probiyotik olarak kabul edilmektedir (Zhao vd., 2024). *A. muciniphila*’nın bağışıklık yanıtını ve metabolik fonksiyonları iyileştirdiği bilinmektedir. Katı bir anaerob olan bu bakteri, karbon ve azot elementi olarak yalnızca müsinleri kullanmaktadır. Müsinler, bağırsak epiteli kaplayan koruyucu mukus tabakasının temel bileşenidir. Bu bakteri, müsin parçalayarak mukus bariyerinin bütünlüğünün korunmasında kritik bir rol oynar ve patojenlerin bağırsak dokusuna sızmasına engel olur (Anderson vd., 2024). *A. muciniphila* esas olarak bağırsaklardaki

mukus tabakasına yerleşmekte ve bağırsak tabakasını güçlendirme, mukus üretimini arttırma, mukus tabakasının kalınlığını koruma gibi önemli etkiler göstermektedir (Zhao vd., 2024). *A. muciniphila*’nın aksine, *Faecalibacterium prausnitzii* ise bağırsak epitel mukusunu kullanamaz fakat bol miktarda bulunması mukus ve sıkı bağ proteinlerinin yeniden sentezini uyartabilir ve hasar gören bağırsak mukozal bariyerini onarabilir. Bunların yanı sıra, *F. prausnitzii*, glikozu fermente ederek kısa zincirli yağ asidi olan bütirat, format, az miktarda D-laktik asit, orta zincirli yağ asitleri ve salisilik asit üretir. Bütirat; epitel hücrelere enerji kaynağı sağlar, bağırsaktaki T hücresi aktivitesini düzenler, kolon kanseri apoptozisini uyarır ve bağırsak inflamasyonunu engelleyip metabolik sendromu iyileştirir (Zhang vd., 2022). Bir diğer yeni nesil probiyotik türü olan *Bacteriodes fragilis*, bağırsak geçirgenliğini iyileştirmekte, bağırsaktaki sıkı bağ proteinlerinin ekspresyonunu arttırmakta, bağışıklık düzenlenmesini teşvik etmekte ve inflamatuvar yanıtlarını iyileştirmektedir (Huang vd., 2024). *Eubacterium hallii* ise, iki kısa zincirli yağ asidi olan propiyonat ve bütirat üretmektedir. Bu kısa zincirli yağ asitleri, mukus üretimini arttırmak, enterositlerin çoğalmasını ve farklılaşmasını uyarmak, epitel hücrelerin sağlığını desteklemek gibi bağırsak sağlığının korunmasında önemli roller üstlenmektedir. Propiyonat ve bütirat insan sağlığı için önemli kabul edilen kısa zincirli yağ asitlerindendir (Al-Fakrany ve Elekhawwy, 2024). *Roseburia* türleri ise, insan bağırsak mikrobiyotası için oldukça önemli olup kolona ulaşan kompleks polisakkaritleri fermente ederek son ürün olan bütirat üretmektedir. Bütirat, insan kalın bağırsağındaki kolonositlerin tercih ettiği enerji kaynağı olmasının yanı sıra bilinen bir histon deasetilaz inhibitörü ve immünomodülatör sinyaldir. *Roseburia* türlerinin ürettiği bütirat, tip 2 diyabet, ülseratif kolit ve kolon kanserine karşı etkili olduğu bilinmektedir (Hillman vd., 2020). Günümüzde, gastrointestinal enfeksiyon riskini azaltmak veya bu tür enfeksiyonları tedavi etmek için *Lactobacilli* ve *Bifidobacteria* suşları kullanılmaktadır. Probiyotik tüketiminin bazı faydalı etkileri arasında, mikrobiyotanın düzenlenmesi yoluyla bağırsak sağlığının iyileştirilmesi, bağışıklık sisteminin uyarılması ve gelişimi, besinlerin biyoyararlılığının arttırılması, laktoz intoleransı semptomlarının azaltılması ve

belirli diğer hastalıkların azaltılması yer almaktadır (Nagpal vd., 2012). Majör depresif bozukluk (MDB), dünya genelinde yaygın olan psikiyatrik hastalıklarında birisidir. MDB, bağırsak hareketliliği bozukluğu gibi gastrointestinal anormalliklerle yüksek oranda eş tanı göstermektedir (Tian vd., 2023). Depresyon ve buna eşlik eden gastrointestinal semptomların yönetiminde etkili bir strateji geliştirmek için (Tian vd. 2023) bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, MDB hastaları için üç probiyotik suşlu (*Bifidobacterium breve* CCFM1025, *Bifidobacterium longum* CCFM687 ve *Pediococcus acidilactici* CCFM6432) müdahalesinin potansiyel psikiyatrik etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda araştırmacılar dört hafta boyunca tanıli hastalara karışık probiyotik formülü, diğer hastalara ise kontrol amaçlı plasebo vermiştir. Araştırmada, hastaların psikometrik ve gastrointestinal durumları tedavi öncesi ve sonrasında değerlendirme ölçekleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, çoklu probiyotik kullanımının depresyon puanlarını önemli ölçüde azalttığını ve bu azalmanın plaseboya kıyasla daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra çoklu probiyotik kullanan hastaların gastrointestinal işlevlerinde de önemli ölçüde iyileşme olduğu belirtilmiştir.

Probiyotik bakteriler ve mayalar, bağırsak epiteline patojenlerin yapışmasını engelleyerek bakteri toksinlerinin azalmasını, antibakteriyel maddelerin ve vitaminlerin sentezlenmesini sağlamaktadır. Probiyotik metabolitler bağırsak homeostazını korur ve bağırsak sağlığını olumlu yönde etkiler. Aynı zamanda bu mikroorganizmaların bağırsaklarda bulunması çevresel antijenlere karşı immün toleransının korunmasını sağlarken alerji oluşumunun önlenmesine de yardımcı olmaktadır (Srednicka vd., 2021).

Günümüzde yaygın olarak tüketilen probiyotikler iki ana cins aittir. Bu cinslerden ilki *Bifidobacterium*'dur. Bu tür, çeşitli gıdalarda ve gıda takviyelerinde bulunmaktadır. *Bifidobacterium*, bağışıklık sistemini destekler, zararlı bakterilerin büyümesini önler ve laktoz katabolizmasını desteklemektedir. İkinci cins ise *Lactobacillus*'tur (Kumar vd., 2020). Zheng vd., (2020)'de yaptıkları çalışmada, *Lactobacillus* cinsinin fenotipik, ekolojik ve genotipik düzeylerde çeşitli olarak 261 türü olduğunu

belirlemişlerdir. Bu çalışmalarında, *Lactobacillaceae* ve *Leuconostocaceae* familyalarının taksonomisini tüm genom dizileri temelinde değerlendirmişlerdir. Değerlendirilen bu parametreler arasında çekirdek genom filogenisi, çift yönlü ortalama aminoasit benzerliği, klad-özgül imza genleri, fizyolojik kriterler ve organizmaların ekolojisi yer almaktadır. Bu çok yönlü yaklaşıma göre, *Lactobacillus* cinsinin yeniden sınıflandırılmasını ve bu cinse ait olan organizmaların evrimsel ilişkileri ve ekolojik özellikleri dikkate alınarak 25 cinse ayrılması gerektiğini önermişlerdir. Bu cinsler arasında, yeniden düzenlenmiş *Lactobacillus delbrueckii* grubu ve *Paralactobacillus* olarak adlandırılan ve 23 yeni cins yer almaktadır. Bu yeni cinsler için önerilen adlandırma; *Holzapfelia*, *Amylactobacillus*, *Bombilactobacillus*, *Companilactobacillus*, *Lapidilactobacillus*, *Agrilactobacillus*, *Schleiferilactobacillus*, *Loigolactobacillus*, *Lacticaseibacillus*, *Latilactobacillus*, *Dellaglioia*, *Liquorilactobacillus*, *Ligilactobacillus*, *Lactiplantibacillus*, *Furfurilactobacillus*, *Paucilactobacillus*, *Limosilactobacillus*, *Fructilactobacillus*, *Acetilactobacillus*, *Apilactobacillus*, *Levilactobacillus*, *Secundilactobacillus* ve *Lentilactobacillus* şeklinde ifade edilmiştir. Yeniden tanımlanan *Lactobacillus* cinsi içindeki türlerin isimlendirilmesinde bir değişiklik olmamakla birlikte bu türler şu şekilde belirtilmektedir; *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *indicus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *jakobsenii*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *sunkii*, *Lactobacillus acetotolerans*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus amylolyticus*, *Lactobacillus amylovorus*, *Lactobacillus apis*, *Lactobacillus bombicola*, *Lactobacillus colini*, *Lactobacillus crispatus*, *Lactobacillus equicursoris*, *Lactobacillus fornicalis*, *Lactobacillus gallinarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus gigeriorum*, *Lactobacillus hamsteri*, *Lactobacillus helsingborgensis*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus hominis*, *Lactobacillus iners*, *Lactobacillus intestinalis*, *Lactobacillus jensenii*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus kalixensis*, *Lactobacillus kefiranofaciens*, *Lactobacillus kefiranofaciens*

subsp. kefiranofaciens, *Lactobacillus kefiranofaciens* subsp. kefirgranum, *Lactobacillus kimbladii*, *Lactobacillus kitasatonis*, *Lactobacillus kullabergensis*, *Lactobacillus melliventris*, *Lactobacillus mulieris*, *Lactobacillus panisapium*, *Lactobacillus paragasseri*, *Lactobacillus pasteurii*, *Lactobacillus porci*, *Lactobacillus psittaci*, *Lactobacillus rodentum*, *Lactobacillus taiwanensis*, *Lactobacillus ultunensis*, *Lactobacillus xujianguonis*. *Lactobacillus* cinsi, laktoz veya süt şekerini parçalayan ve laktik asit üreten laktaz enzimini üretmektedir. Laktik asit, zararlı bakterilerin çoğalmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca bir kas yakıtı olan laktik asit vücuda alınan farklı minerallerin emilimini de kolaylaştırmaktadır (Kumar vd., 2022). Probiyotiklerin yaygın olarak bulunduğu gıdalar arasında yoğurt, peynir, dondurma, meyve suları, fırın ürünleri (bazı ekmek ve kurabiyeler) bulunmaktadır. Fakat bazı tüketiciler laktoz intoleransı veya süt alerjileri nedeniyle süt ürünlerini tüketememektedirler. Her ne kadar probiyotikler süt ürünlerinde yaygın olarak bulunsun da bazı süt ürünü içermeyen ürünlerde de bulunmaktadır. Tahıllar, meyveler, sebzeler, probiyotiklerin büyümesi için zengin bir ortam sunan diyet lifleri, vitaminler, polifenoller ve mineraller içermektedir (Gu vd., 2022). Probiyotik ilaveli meyve sularının içerisinde yaygın olarak ananas, elma, muz, portakal ve yaban mersini gibi meyveler kullanılmaktadır. Çünkü bu meyveler içerdikleri vitamin, mineral, antioksidan ve lifler gibi besin öğeleri ve doğal şeker sayesinde probiyotiklerin büyümesine katkı sağlamaktadır (Sharma vd., 2021).

Geleneksel bir içecek türü olan “boza” laktik asit bakteri türlerinden olan *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum* ve *Saccharomyces cerevisiae* türlerini; “tarhana” ise *Lactobacillus bulgaricus* ve *Lactococcus lactis* türlerini içermektedir. Meyve suyu bazlı probiyotik içeceklerden olan “hardaliye” geleneksel olarak fermente edilmiş üzüm bazlı bir içecektir. Hardaliye, laktik asit bakterileri ile ezilmiş hardal tohumları ve benzoik asitler kullanılarak fermente edilmektedir. Bu içekte kullanılan laktik asit bakteri türleri arasında; *Lactobacillus casei*, *L. paracasei* gibi türler bulunmaktadır (Kumar vd., 2022).

4. Prebiyotikler

Prebiyotik kavramı ilk olarak (Gibson vd., 1995) tarafından sindirilemeyen oligosakkarit ve özellikle fruktooligosakkaritlerin de mevcut tek prebiyotik olduğu şeklinde ifade edilmiştir. Daha sonra çalışmalarını gözden geçiren (Gibson vd., 2017) güncel çalışmalarında prebiyotiklerin tanımını *sağlık yararları sağlama amacıyla probiyotikler tarafından seçici olarak kullanılan substratlar* şeklinde revize etmişlerdir. Prebiyotikler, insan ince bağırsığı tarafından sindirilip emilmeyen ve bağırsaktaki probiyotikler tarafından seçici olarak kullanılan oligosakkaritlerdir. Bunların yanı sıra prebiyotikler, antioksidan aktivite, minerallerin emiliminin artırılması ve hipolipidemik etki gibi çeşitli metabolik ve fizyolojik süreçleri de desteklemektedir (Kango ve Nath, 2024).

Prebiyotikler, kısa zincir uzunluğuna sahip karbonhidratlardır (Sarao ve Arora, 2017). Sindirilemeyen karbonhidratlar, polisakkaritler (nişasta, pektin ve dekstrin), fruktooligosakkaritler, galaktooligosakkaritler, izomaltooligosakkaritler, laktoz ve inülin prebiyotik özellik taşımaktadır. En popüler prebiyotikler ise oligosakkaritlerdir (Oniszczuk vd., 2021). Oligosakkaritler, düşük polimerizasyon derecesine sahip karbonhidratlardır ve bu nedenle düşük molekül ağırlığına sahiptir. Sindirilemeyen oligosakkaritler, monosakkarit birimi olarak; fruktoz, galaktoz, glukoz gibi karbonhidratlar içermektedir (Sarao ve Arora, 2017).

Fruktooligosakkaritler, oligosakkaritler sınıfına ait olup, oligofruktoz veya oligofrukton olarak adlandırılmaktadır. Düşük kalorili ve prebiyotik potansiyeli olan fruktooligosakkaritler, küçük bir diyet lifidir ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapay tatlandırıcı olarak da kullanılabilir. Muz, soğan, hindiba kökü, sarımsak, kuşkonmaz, arpa, buğday, domates, pırasa ve yer elması iyi bir fruktooligosakkarit kaynağıdır.

Galaktooligosakkaritler, sindirilemeyen oligosakkaritlerdir, sağlığa yönelik faydaları ve birçok gıdanın kalitesini artırma gibi potansiyeli bulunmaktadır. Yoğurt, şekerleme, ekmek ve çeşitli içeceklerde düşük kalorili tatlandırıcı olarak galaktooligosakkaritler kullanılmaktadır. İzomaltoz oligosakkarit, doğal olarak soya sosu, bal, çeşitli fermente gıdalarda ve şekerlerde bulunmaktadır (Panesar vd., 2013).

Fermente edilebilir oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve poiller anlamına gelen ve kısaltması FODMAP olan ve fruktoz, fruktanlar, fruktooligosakkaritler, galaktoolisakkaritler, galaktanlar, laktoz, maltitol, mannitol, sorbitol ile ksilitol gibi şeker alkollerini içeren kısa zincirli karbonhidratlar grubudur (Pitsch vd., 2021). Bu bileşikler pek çok tahıl, meyve, sebze ve süt ürününde bulunmaktadır. Buğday ve buğday ürünleri, dünya genelinde temel gıdalar arasında yer almakta olup günlük FODMAP alımının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Özellikle Batı Avrupa diyetinde buğday önemli bir fruktan kaynağıdır. FODMAP'ler içerisinde yer alan fruktanlar, fermente olabilir oligosakkaritler sınıfına dahil olup günlük fruktan alımının yaklaşık %70'ini karşılamaktadır. Enzim eksiklikleri durumunda, bu kompleks polisakkaritlerdeki glikozit bağlarının yeterince hidrolize edilememesi ve dolayısıyla malabsorbsiyon oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, emilimi zayıf karbonhidratlar osmotik olarak aktif olmakta, ki bu durumda bağırsak içerisine daha fazla su çekilmesine ve bağırsak hareketliliğinin etkilenmesine yol açmaktadır. Sindirilemeyen bu polisakkaritler kalın bağırsağa ulaştığında burada bulunan kolonik mikrobiyota tarafından hızlıca fermente edilerek ishal ve gaz oluşumuna neden olmaktadır. Bu belirtiler İrritabl Bağırsak Sendromu (IBS) ile uyumluluk göstermektedir (Fraberger vd., 2018). IBS, Batı ülkelerinde nüfusun yaklaşık %5-12'sini etkileyen fonksiyonel gastrointestinal bozukluktur. IBS için bilinen bir tedavi yöntemi bulunmadığından genellikle diyet, psikolojik ve farmakolojik yaklaşımların bir arada kullanıldığı çok yönlü bir yaklaşım önerilmektedir. Diyet terapileri, birçok IBS hastası için önemli bir seçenek olmaktadır (Peters vd., 2016). (Eswaran vd., 2017), FODMAP açısından düşük bir diyetin İrritabl Bağırsak Sendromu ve diyare (IBS-D) sorunu olan hastalarda sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi (QOL), anksiyete ve depresyon düzeyleri, iş verimliliği ve uyku kalitesi üzerindeki etkilerini ölçme amacıyla geleneksel diyet önerileriyle karşılaştırarak İngiltere'de bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma; tek merkezli, tek kör, ileriye dönük randomize olup, 92 yetişkin IBS-D hastası 4 hafta boyunca ya FODMAP açısından düşük bir diyetle beslenen ya da İngiltere Ulusal Sağlık ve Bakım Enstitüsü'nün (NICE) önerdiği modifiye diyet (mNICE) ile beslenen şeklinde iki grup halinde incelenmiştir. Diyet öncesi ve sonrası değerlendirmeleri ise IBS ile ilişkili yaşam kalitesi

(IBS-QOL), psikososyal sıkıntı, iş verimliliği ve uyku kalitesi ölçülmüştür. Çalışmayı 92 hastadan 84'ü tamamlamıştır (45 kişi FODMAP grubu, 39 kişi mNICE grubu). Dört haftalık sürecin sonunda ise, FODMAP açısından düşük diyet uygulanan grupta IBS-QOL skorundaki artış mNICE diyetiyle beslenen gruba kıyasla daha fazla olmuştur. Anksiyete skorlarında da FODMAP grubu lehine bir azalma gözlenmiştir. Aynı zamanda, aktivite kaybındaki azalma FODMAP grubunda mNICE grubuna göre daha büyük oranda gerçekleşmiştir. Sonuçları değerlendiren çalışmacılar, FODMAP açısından düşük diyetle beslenmenin, geleneksel diyetlere kıyasla IBS-D hastalarında; sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi, anksiyete düzeyi ve aktivite kaybı açısından anlamlı derecede daha fazla iyileşme sağladığını ifade etmişlerdir. Bir başka çalışma da (Megen vd., 2022) tarafından yürütülmüştür. Çalışmada, glutensiz diyetin genellikle çölyak hastalığında mukozal olarak iyileşmeye yol açsa da kalıcı semptomlarının yaygın olarak görüldüğü belirtilmektedir. FODMAP diyetinin İrretabl Bağırsak Sendromu (IBS) için uygun bir tedavi yöntemi olduğunu ve çalışmalarında tedavi görmekte olan çölyak hastalarına kalıcı semptomlar üzerinde orta derecede FODMAP diyeti etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma randomize kontrollü olup çölyak hastalığı olan 70 yetişkin birey üzerinde yürütülmüştür. Katılımcılar, düşük FODMAP-glutensiz diyet (müdahale grubu) ve olağan glutensiz diyet (kontrol grubu) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Müdahale grubunda 34, kontrol grubunda 36 katılımcı yer almıştır. Çalışmada, başlangıçta ve 4. hafta arasında, Çölyak Semptom İndeksi değeri kaydedilmiştir. Çalışma boyunca ortalama FODMAP alımı orta düzeyde düşük olmuş ve bu değer 4. haftada müdahale grubunda anlamlı şekilde daha düşük bulunmuştur. Sonuç itibarıyla çalışmacılar, kısa süreli FODMAP diyetinin çölyak hastalığına özgü sağlık durumunda iyileşmeler gözlendiğini belirtmişlerdir.

İnülin, uzun zincirli, glikozla sonlanan bir polisakkarit karışımıdır ve prebiyotik etki göstermektedir. Ayrıca, yağ benzeri bir madde ve dolgu ajanı olarak da işlev görmektedir. Genellikle, %10 oligosakkarit içeren bu uzun zincirli polisakkarit yapısı inüline su tutma kapasitesi kazandırmakta ve böylelikle birçok üründe işlevsel dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Ekmek hamuruna eklenen inülin sayesinde deformasyona

karşı en yüksek etkiyi göstermiştir ki bu değer hamurun gaz tutma kapasitesini gösteren bir değerdir. Gaz davranışları açısından bakıldığında, maksimum gaz oluşum süresi ve gazın hamurdan kaçmaya başladığı süre inülin ile azalmış ve bu durum hamurun karbondioksit geçirgenliğinde artış olduğunu ortaya koymuştur. Fırıncılık ürünlerinde prebiyotiklerin temel rolü; yağ ve şekerin yerine geçmek, nemin korunmasını sağlamak ve lif içeriğini arttırmaktır. Özellikle, ekmekteki yağ yüksek hacimli yani gaz tutma kapasitesi yüksek ürün elde edilmesine, daha yumuşak dokuya ve bayatlamamanın gecikmesine katkıda bulunmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, ekmeklerde kullanılacak olan prebiyotiklerden bu özellikleri taklit etmesi beklenmektedir. (Ishwarya ve Prabhasankar, 2014). İnülin, lif açısından zengin, prebiyotik, düşük yağlı ve düşük şekerli bir üründür. Düşük yağ içeriğine sahip çeşitli sütü tatlılara eklenen inülin takviyesi bu tatlılarda sadece prebiyotik etki sağlamakla kalmaz aynı zamanda yağ ve şeker içeriğini de azaltır (Shoab vd., 2016).

Laktoz prebiyotik özellikte olup obezite önleme gibi çeşitli önemli fizyolojik özelliklere sahiptir ve ilaç, sağlık ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Laktoz ve türevlerinin bazı süt ürünlerine eklenmesiyle beraber ürünlerin lezzet, doku ve besin değeri artmaktadır. Ayrıca, laktozun dondurulmuş yoğurda eklenmesi ile prebiyotik bakterilerin hayatta kalma oranı ve diğer fonksiyonel özellikleri artmaktadır (Xiao vd., 2019).

Prebiyotiklerin en büyük avantajı, bileşiklerinin çoğunun meyve ve sebzeler gibi doğal kaynakların bir parçası olmasıdır. Geleneksel prebiyotik besin kaynakları arasında soya fasulyesi, yer elması, hindiba kökü, çiğ yulaf, rafine edilmemiş buğday, rafine edilmemiş arpa, muz, pırasa, soğan, kuşkonmaz, karahindiba yeşillikleri, buğday kepeği ve sarımsak bulunmaktadır. Bunların yanı sıra prebiyotik bileşikler farklı matrislerde kullanıldığında da fonksiyonel faydalar sağlamaktadır (Ishwarya ve Prabhasankar, 2014). Prebiyotiklerin gıda uygulamaları ve etki mekanizmaları Çizelge 1’de verilmiştir.

2017’de yayımlanan Resmî Gazete’de hastalık riskinin azaltılmasına yönelik beyanda, bağışıklık sisteminin normal fonksiyonu için gıdalarda en az

1.0×10^6 kob/g canlı prebiyotik mikroorganizma içermesi gerekmektedir.

Gıdadaki prebiyotik bileşen miktarının en az 1,25 g/porsiyon en fazla 3,75 g/porsiyon olması gerekmektedir. Beklenen etkinin görülebilmesi için ise prebiyotik bileşen tüketiminin en az 5 g/gün olması gerektiği gıda etiketinde belirtilmelidir (Anonim, 2017).

5. Sinbiyotikler

Sinbiyotik, prebiyotikler ve probiyotiklerin sinerjik kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır (Mohd-Fuad vd., 2023). Sinerjik kombinasyon; probiyotiğin konakçı üzerinde faydalı etkilerde bulunmasını, prebiyotiklerde ise seçilen probiyotiğin büyümesini ve aktivitesini arttırmasını esas almaktadır (Kolida ve Gibson, 2011). Aynı zamanda bu sinerji, canlı mikrobiyel gıda takviyelerinin gastrointestinal sistemde hayatta kalmasını ve yerleşmesini, sağlık açısından faydalı bakterilerin büyümesini teşvik etmektedir (Rovinaru ve Pasarın, 2020). Yani, gıdalara eklenen sinbiyotikler yararlı mikroorganizmaların hayatta kalma oranını arttırmaktadır (Markowiak ve Slizewska, 2017).

Sinbiyotikler, probiyotiklerin ağız boşluğu gibi mikrohabitatlarda hayatta kalma oranını arttırmak için geliştirilmiştir. Böylelikle sinbiyotikler yararlı oral bakterilerin ağız boşluğunda hayatta kalmasını sağlar ve *Candida spp.* ve *Streptococcus* gibi ağız patojenlerinin kolonizasyonunu önler (Mohd-Fuad vd., 2023). Sinbiyotikler;

- *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* cinslerinin sayısının artması ve bağırsak mikrobiyotasının dengesinin korunmasına,
- Siroz hastalarında karaciğer fonksiyonlarının iyileştirilmesine,
- Cerrahi müdahaleler sonrası bakteriyel translokasyonun önlenmesi ve oluşabilecek hastane enfeksiyonlarının görülme olasılığının azalmasına yardımcı olmaktadır (Markowiak ve Slizewska, 2017).

Çizelge 1. Prebiyotikler, gıda uygulamaları ve etki mekanizmaları

Prebiyotikler	Gıda ürünleri	Etki mekanizması	Kaynak
İnülin, fruktooligosakkarit, polidekstroz ve dirençli nişasta	Sosis	Daha gözenekli ve kırılğan bir yapı	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
Alg ve/veya buğday tohumu yağı emülsiyonu	Sığır burgerleri	Omega-3 ve dokosahekzenoik yağ asidi (DHA) miktarlarında artış	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
İnülin, polidekstroz, asiklodekstrin ve bambu ile stabilize edilmiş kanola yağı jel emülsiyonu	Emülsifiye et ürünü	Bambu lifi içeren jel emülsiyonlarının, örneklerde emülsiyon stabilitesi ve tekstürde gelişme	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
Çiya unu, soya proteini izolatu, inülin, karragenan, sodyum kazeinat ve sodyum tripolifosfat ile hazırlanan emülsiyon	Bologna sosisi	%14 oranında jel emülsiyonu içeren sosislerin diğer gruplara göre omega-3 yağ asidi içeriğinin daha yüksek ve doymuş yağ asidi oranının %41'e kadar azalması	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
Beta-glukan	Fermente sosis	Fermente sosislere α -glukan ilavesinin tiyobarbitürik asit reaktif (TBARS) madde değerlerini azaltması	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
Zeytinyağı, çiya ve soğuk jelleştirici maddeler (transglutaminaz, aljinat veya jelatin)	Frankfurter	Doymuş yağ asidi (SFA) miktarında azalma, tekli doymamış yağ asidi (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asidi (n-3 PUFA) miktarlarında artış	Nuriler ve Uyarcan, (2023)
FOS	Kızılıcak suyu	FOS içeriği korunmuş ve antosiyanin miktarında artış	Balthazar vd., (2022)
Farklı polimerizasyon derecelerine sahip oligosakkaritler	Portakal suyu	Fenolik içerik, antioksidan, pH, rengin korunması	Balthazar vd., (2022)
İnülin	Elma suyu	Fonksiyonel bileşenlerde, sorbitol, glikoz, fruktoz, sükroz miktarlarında artış, antioksidan aktivite de azalma olmaması, inülinin polimerizasyon derecesini korunması	Balthazar vd., (2022)
Kırmızı pirinç kepeği unu	Yoğurt	Serum glutamat pürivik transaminaz seviyesinde düşüş (sıçanlarda)	Zepeda-Hernandez vd., (2021)
Aronya meyvesi polifenolleri	Kefir (%2 yağlı süt ve %15 aronya meyvesi)	Polifenollerin biyoyararlanımlarında ve antioksidan kapasitesinde artış, α -glukozidaz enziminde güçlü inhibisyon	Zepeda-Hernandez vd., (2021)
Yeşil çay polifenolleri	Sütlü içecekler	Plazmadaki toplam fenolik maddede artış	Zepeda-Hernandez vd., (2021)

6. Parabiyotikler ve postbiyotikler

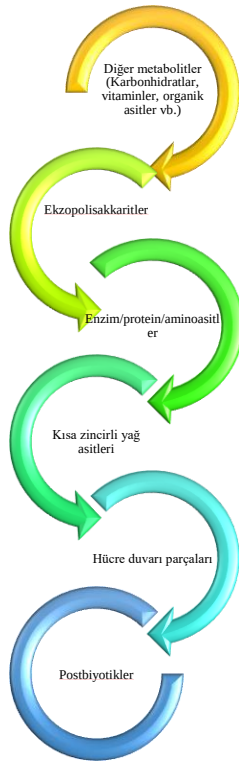
Probiyotiklerin faydalı etkilerinin altında yatan bazı mekanizmalarının canlı mikroorganizmalara tamamen bağlı olmadığı ifade edilmektedir. Bu bağlamda, postbiyotik ve parabiyotik kavramları sağlıklı mikrobiyotaya özgü biyolojik tepkileri doğrudan gösterebilen yeni bileşikler olarak geliştirilmiştir (Capponi vd., 2022). Parabiyotikler, yeterli miktarda alındığında tüketiciye fayda sağlayan, canlı olmayan mikrobiyel hücreler veya ham hücre özütleridir. Aynı zamanda parabiyotikler, hayalet probiyotikler veya inaktive edilmiş probiyotikler/canlı olmayan mikrobiyel hücreleri olarak da ifade edilmektedir (Nataraj vd., 2020). Probiyotikler birçok olumlu etkiye sahiptir fakat uygulanan probiyotik canlılık özelliği taşıdığından dolayı bazen enfeksiyon riskine yol açmakta ve bazı tedavi uygulamalarında tereddüt oluşturmaktadır. Canlı probiyotiklerle ilgili bir diğer endişe ise, uzun süreçlerde bağışıklık tepkilerinin değişmesi, probiyotiklerin antibiyotik direnci oluşturmaları ve bu direncin patojenlere yayılma ihtimali bulunmaktadır. Buna karşın parabiyotikler inaktif mikroorganizmalardır ve canlı probiyotik hücreleriyle ilgili riskleri taşımamaktadır. Kısacası, parabiyotikler canlılık özellikleri olmadığı için probiyotiklere kıyasla daha kararlı ve güvenli olup gıda ve ilaç uygulamalarında avantaj sağlamaktadır (Tatar ve Öztürk, 2022). Yoğurt, diğer gıda ürünleriyle karşılaştırıldığında çok etkili bir probiyotik taşıyıcısıdır. Probiyotik yoğurdun raf ömrü, probiyotik bakterilerin maruz kaldığı oksidatif stres nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, birçok kültürlenmiş süt ürünü tüketim zamanında baştaki probiyotik kriterini karşılayamaz çünkü probiyotik suşlar ürünün asitliğine dayanamaz ve bu durum laktik asit üreten bakteriler içerdiğinde de zamanla artabilir. Parabiyotikler ise, geniş pH ve sıcaklık aralığında stabil kaldıkları için süt ve ürünleri sektöründe oldukça ilgi çekicidir. Bu özellikleri sayesinde yüksek asitli gıdalara ve ısıtıl işlem öncesi işlevini kaybetmeden dahil edilebilmektedir. Parabiyotik eklenmesi, yoğurtta fermentasyon sonrası aşırı asitlenme gibi olumsuz değişikliklere yol açmadan ürünün duyuusal özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluşturmamaktadır (Siciliano vd., 2021). Parabiyotik üretimi için probiyotiklerin inaktivite edilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılan teknolojiler, mikroorganizmaların canlılığını tamamen ya da büyük ölçüde kaybetmesine

odaklanmaktadır. Bu amaçla, yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında; ısıtıl işlem, yüksek basınç, sonikasyon gibi işlemler bulunmaktadır (Tatar ve Öztürk, 2022).

Postbiyotik terimi, Yunanca *post* (sonra) ve *bios* (yaşam) kelimelerinden türetilmiştir. Bu nedenle postbiyotik; mikroorganizmaların artık canlı olmadığı, cansız veya inaktive hale geldiği maddeler olarak ifade edilmektedir. Bir postbiyotik içerisindeki mikroorganizmalar cansız, sağlam hücreler ya da hücre duvarları gibi mikroorganizma yapısal parçaları olabilir (Vinderola vd., 2022). Aynı zamanda postbiyotikler, mikrobiyel hücre bileşenlerinden ve aynı zamanda bir besin matrisi üzerindeki aktivite sonucu metabolitlerin ve ürünlerin sentezini içeren mikrobiyel etkiden türetilmektedir. Postbiyotikler, mikrobiyotaya tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitleri, ekzopolisakkaritler, hücre duvarı parçaları, enzimler/proteinler ve diğer metabolitler gibi metabolitler olarak sınıflandırılmaktadır. Yapısal sınıflandırma ise peptitler, teikoik asitler ve plazmalojenler şeklinde ifade edilmektedir. Bunların yanı sıra elementel bileşimlerine göre postbiyotikler; karbonhidratlar, proteinler, lipitler, vitaminler, organik asitler ve diğer kompleks bileşikler olarak da sınıflandırılmaktadır. Fizyolojik fonksiyonlarına göre postbiyotikler antioksidan ve anti-inflamatuvar etki de göstermektedir (Thorakkattu vd., 2022). Postbiyotiklerin sınıflandırılması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Postbiyotikler, probiyotikler ve prebiyotiklere benzer şekilde çeşitli mekanizmalar aracılığıyla faydalı etkiler göstermektedir. Zararlı bakterilerin büyümesini engelleyip yararlı bakterilerin işlevlerini arttırarak bağırsak mikrobiyotasının kompozisyonunu düzenlemekte, bağırsak bariyer fonksiyonunu iyileştirmekte, antioksidan ve anti-inflamatuvar etkileri sayesinde bağışıklık sistemini modüle etmektedir (Ji vd., 2023). Probiyotikler ve postbiyotikler yalnızca tüketicinin sağlığına fayda sağlamayıp gıda güvenliğinde de etkin rol almaktadır. Postbiyotikler; süt, et, sebze ve fırın ürünlerinin biyokorunması, organik asitler ve bakteriyosinler gibi antimikrobiyel bileşiklerin üretiminde yer almaktadır. Bunların yanı sıra postbiyotikler, biyolojik olarak aktif ve yenilebilir ambalajların geliştirilmesi, gıda makinelerinde oluşan biyofilmlerin önlenmesi, biyojen aminler, pestisitler ve mikotoksinler gibi kirleticilerin

azaltılmasında da etkindir (Vera-Santander vd., 2023).



Şekil 1. Postbiyotiklerin sınıflandırılması (Thorakkattu vd., 2022)

Postbiyotikler doğal olarak kefir, kombu çayı, turşu, yoğurt ve süt bazlı ürünlerde bulunmaktadır. Postbiyotik türlerinden *Nisin* süt ürünlerinde, işlenmiş gıdalarda, çorbalarda ve çeşitli soslarda koruyucu olarak işlev görmektedir (Thorakkattu vd., 2022). Postbiyotikler gıdalarda bakteriyosin, biyoaktif peptitler, ekzopolisakkaritler ve antioksidan bileşikler olarak kullanım göstermektedir. Bu bağlamda, çölyak hastaları için üretilen glutensiz ekmeklere, düşük kalorili unlu mamullere, diyet ürünlerine ekzopolisakkarit ilavesi olumlu sonuçlar sağlamaktadır (İçier vd., 2022). Postbiyotikler, çeşitli etki mekanizmalarına sahip biyoaktif bileşiklerden oluşan formülasyonlardır. Bunlar inaktive edilmiş mikrobiyel hücreleri veya hücresel bileşenleri içerir ki bu onları daha stabil hale getirirken probiyotiklere benzer sağlık yararları sunar (Guo vd., 2024). Kronik ishal, yaşam kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda Guo vd. (2024)'te randomize, çift kör, plasebo kontrollü, çapraz müdahale denemesi, ishal ile ilişkili semptomları hafifletmede postbiyotiklerin potansiyelini araştırmak için, 69 katılımcı ile klinik

çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, katılımcılar 21 gün boyunca postbiyotik veya plasebo almışlardır. Belirlenen sürenin sonunda sonuçları değerlendiren araştırmacılar, postbiyotik alan kişilerin dışkı skalası puanında, dışkılama sıklığında, aciliyet ve anksiyete açısından anlamlı iyileşmeler sağladığını belirlemişlerdir. Ayrıca postbiyotik uygulamasının bağırsakta bulunan faydalı bakteri sayısını artırırken, potansiyel patojenleri azalttığını da ifade etmişlerdir. Çalışmacılar, postbiyotiklerin α -linolenik asit ve *p*-metoksisinamik asit gibi faydalı metabolitlerin zenginleşmesine ve teofilin, piperin, kapsaisin ve fenilalanin gibi ishal ile ilişkili metabolitlerin azalmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. Bunlara ilaveten, ishal ile ilişkili bir primer safra asidi olan kenodeoksikolik asidin de önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. Sonuç olarak araştırmada postbiyotiklerin kronik ishalin hafifletilmesinde umut verici olduğu ifade edilmektedir. Prebiyotikler, pre-diyabetik bireylerde bağırsak mikrobiyotası kompozisyonunda faydalı değişiklikler oluştururken, postbiyotikler bağırsak bariyer fonksiyonunu artırarak glukoz metabolizmasını ve insülin duyarlılığını iyileştirmek için birbirini tamamlayıcı etki göstermektedir (Beteri vd., 2024). Bu çalışmacılar, 12 haftalık diyet lifi takviyesinin bağırsak sağlığı, metabolik fonksiyon ve beslenme üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Buna göre çalışmacılar, takviye olarak konjak glukomannan, galaktooligosakkaritler ve *Bifidobacterium breve*'den ekzopolisakkaritler kullanmışlardır. Randomize, çift kör, plasebo kontrollü, paralel grup klinik çalışmada, 53 pre-diyabetik gönüllü, 12 hafta boyunca günlük diyet lifi takviyesi veya plasebo almış ardından 4 hafta boyunca takip dönemi yapılmıştır. Ölçümler arasında bağırsak mikrobiyotası kompozisyonu, glikolize hemoglobin (HbA1c), açlık plazma glukozu (FPG), plazma lipidleri, antropometri, vücut kompozisyonu, kan basıncı ve diyet alımı yer almıştır. Sonuçlara göre araştırmacılar, diyet lifi takviyesi alan grupta HbA1c ve FPG seviyelerinin pre-diyabet sınırlarının altına düştüğünü gözlemlemişlerdir. Plasebo grubunda ise anlamlı bir değişiklik olmadığını ifade etmişlerdir. Bu bağlamda çalışmacılar, insan bağırsak mikrobiyotasını diyet takviyeleri ile yönlendirmenin pre-diyabet yönetimi, diyabetin önlenmesi veya geciktirilmesi kapsamında umut

verici tedavi yaklaşımı olabileceğini belirtmişlerdir.

7. Biyotiklerin kullanımı ve risk faktörleri

Probiyotikler, yeterli miktarda alındıklarında konakçıya sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalardır. Probiyotik ürünlerde kullanılan suşların özellikleri oldukça önemlidir. Bu suşların olumlu etki göstermesi için mide asidi, bağırsak pH'sı ve safra tuzlarından etkilenmeden ve özellikle bağırsağa canlı olarak ulaşabilmesi ve burada etkili olması gerekmektedir. Aynı zamanda, konakçıya herhangi bir risk oluşturmamalı, konakçının mikrobiyel dengesi, bağışıklık fonksiyonları ve kolonik fermentasyon süreci üzerinde olumlu etkiler göstermelidir. Probiyotik suşların etkin olabilmesi için ürünün canlı mikroorganizmalar içermesi ve düzenli olarak tüketilmesi önemlidir. Türk Gıda Kodeksi'ne göre "probiyotik gıda, raf ömrü sonuna kadar yeterli miktarda (en az 1×10^6 kob/g) canlı probiyotik mikroorganizma içeren ve bu canlılığı koruyan ürünlerdir" şeklinde ifade edilmektedir (Şanlıer, 2019).

Probiyotikler ilaç olarak onaylanmamış olsa da bazen hastalıkların önlenmesi veya tedavisi amacıyla da kullanılmaktadır. Klinik kullanım alanları genişledikçe, probiyotiklerin gıda ve diyet takviyesi olarak üretiminde belirlenen kalite kontrol standartlarının risk altındaki popülasyonlarda kullanımının yeterli olup olmadığı oldukça önemlidir (Sanders vd., 2016). Probiyotikler, stres altında olan bireylerde, yaşlı bireylerde, yenidoğan ve gebe kadınlarda faydalı olabilir. Fakat bu gruplar enfeksiyon ve enfeksiyon dışı hastalıklara karşı risk altındadır. 69 yaş üstü bireylerde yapılan çalışmalarda, probiyotik takviyesi sadece *Bifidobakteri* gibi potansiyel bağırsak bakterilerinin artışına neden olmadığını aynı zamanda özgül olmayan bağışıklık yanıtının aktivasyonunda da artışa neden olduğu belirtilmiştir. Bağışıklık sistemi zayıf olan bireyler probiyotik takviyesinden en çok fayda gören grup olsa da mikrobiyel temizleme yeteneklerinin azalmış olması nedeniyle septik durumların gelişmesi gibi olumsuz etkilere karşı daha yüksek risk altındadırlar. Bu durum özellikle, virülans faktörleri taşıyabilen veya yatay gen transferi yoluyla antibiyotik direnç genleri kazanabilen probiyotik suşlarında geçerli olmaktadır (Sanders vd., 2010). Özellikle insan tüketimi için

kullanılacak olan suşların ayrıca incelenmesi gerekmektedir. Çünkü, her bir suş genetik veya fenotipik farklılıklar nedeniyle kendine özgü özellikler taşımaktadır. Bu bağlamda, FAO (Food and Agriculture Organization-Gıda ve Tarım Örgütü) ve WHO (World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü) hem bakteriyel suşların tanımlanmasında hem de virülans faktörleri ile antibiyotik direnç genlerinin yatay geçiş risklerinin belirlenmesinde umut verici bir yaklaşım olarak tüm genom dizilimi analizini önermektedir. Çalışmada, *L. bulgaricus* IDCC 3601 suşunun FAO/WHO ve EFSA yönergeleri doğrultusunda tüm genom dizilimi analiz edilmiş, virülans ve antibiyotik direnç genleri araştırılmıştır. Bunların yanı sıra çalışmada, antibiyotik duyarlılığı, biyojen amin üretimi, hemolitik aktivite, enzimatik aktivite, karbonhidrat kullanımı ve antibakteriyel aktivite faktörleri değerlendirilmiştir. İn vivo güvenlik değerlendirilmesi için sıçan modeline akut oral toksisite testi uygulanmıştır. Bu sistematik analiz sonrası, *L. bulgaricus* IDCC 3601'in insan tüketimi için uygun olabileceğine karar verilmiştir (Lee vd., 2024).

FAO'ya göre probiyotiklerin etki gösterebilmeleri için günlük alımda miktarları makul değerlerde olmalıdır. Probiyotik dozunun güvenlik profili üzerinde etkisi vardır, düşük dozlarda (günlük 2,5-10 g) gaz oluşumu meydana gelirken, yüksek dozlarda (günlük 40-50 g) ozmotik ishal görülmektedir. İshal ağırlıklı İrritabl Bağırsak Sendromu vakalarında, probiyotiklerin kolonda gaz üretimini arttırarak şişkinliği arttırması nedeniyle tavsiye edilmemektedir.

Probiyotiklerin tüketimi sonrasında ciddi bir yan etki bildirilmemiştir. Bağırsak enzimleri tarafından hidrolize edilemeyen oligosakkaritler ve polisakkaritler, bağırsak tarafından fermente edilmektedir. Bu nedenle probiyotiklerin yan etkileri genellikle ozmotik etkileriyle ilişkili olup ishal, şişkinlik, kramp ve gaz durumları ile sınırlıdır (Guarino vd., 2020). Postbiyotik kullanımı ele alındığında, 5 yaş altı çocuklarda yaygın enfeksiyon hastalıklarının önlenmesi ve tedavi rolünü değerlendiren ve 1740 çocuk üzerinde yapılan 7 adet randomize kontrollü çalışmada bazı yan etkiler bildirilmiştir. İncelemeye dahil edilen çalışmalardan yalnızca 3'ü postbiyotiklerin yan etkilerini değerlendirmiş, bildirilen bazı ikincil etkiler arasında inaktive *L. acidophilus* LB ve mikro besin maddeleri alan

bireylerde daha yüksek oranda karın şişkinliği, ciddi dehidrasyon ve kusma yer almıştır. Geriye kalan çalışmalarda ise olası yan etkiler bildirilmemiştir. Çalışmacılar, postbiyotiklerin potansiyel yan etkilerini bildiren az sayıda çalışma olduğunu ifade etmişlerdir. Dolayısıyla, postbiyotik metabolitlerin hazırlık süreci ve taşıyıcı sistemler içindeki fizyolojik özelliklerinin ve stabilitelerinin korunması ile ilgili güvenlik faktörlerini belirlemek için daha fazla araştırmaya gereksinim duyulmaktadır (Abbasi vd., 2022).

8. Sonuç

Biyotik bileşenlerden; probiyotikler, prebiyotikler, parabiyoetikler ve postbiyotikler belirli oranlarda kullanıldığında gastrointestinal sistem başta olmak üzere insan sağlığı üzerinde olumlu etkilerde bulunan ve giderek daha fazla ilgi alanı bulan fonksiyonel gıda bileşenleridir. Biyotikler, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, bağışıklık sisteminin desteklenmesi, anti-inflamatuvar etkiler ve psikiyatrik rahatsızlıkların önlenmesi gibi çok yönlü faydalar sunmaktadır.

Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konağa faydalar sağlayan canlı mikroorganizmalardır. Bu faydaların sağlanabilmesi için mikroorganizmaların canlılığını gıdanın raf ömrü boyunca koruması gerekmektedir. Bu bağlamda gerek FAO yönergeleri gerekse Türk Gıda Kodeksi'nin belirlediği miktarlara dikkat edilmesi elzemdir. Bunların yanı sıra probiyotiklerin tüketimi ile ilgili herhangi bir olumsuzluk yaşanmaması için daha önce yapılan in vitro ve in vivo çalışmalar titizlikle incelenmelidir.

9. Kaynaklar

- Abbasi, A., Rad, A. H., Ghasempour, Z., Sabahi, S., Kafil, H. S., Hasannezhad, P. and Shahbazi, N. (2022). The biological activities of postbiotics in gastrointestinal disorders. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(22), 5983-6004. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895061>
- Al-Fakhrany, O. M. and Elekhawwy, E. (2024). Next-generation probiotics: The upcoming biotherapeutics. *Molecular Biology Reports*, 51(1), 505. <https://doi.org/10.1007/s11033-024-09398-5>
- Al-Habsi, N., Al-Khalili, M., Haque, S. A., Elias, M., Olqi, N. A. and Al Uraimi, T. (2024). Health Benefits of Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, and

Prebiyotikler, insan ince bağırsağı tarafından sindirilip emilmeyen ve bağırsaktaki probiyotikler tarafından seçici olarak kullanılan oligosakkaritlerdir. Prebiyotiklerin gıdalarda kullanılması için fonksiyonel etkinliklerinin değerlendirilmesinde in vivo ve in vitro testler oldukça önemlidir. Yani prebiyotik kullanımının mikrobiyota üzerinde olumsuz değişikliğe yol açmaması için güvenli doz aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Postbiyotikler ise, canlı hücre içermeyen fakat hücre duvarı bileşenleri, metabolitler ve mikroorganizmaların yapısal parçaları içeren sağlığa olumlu katkı sağlayan biyotiklerdir. Yapılan son çalışmalarda, bağışıklık yanıtı fonksiyonları, antiinflamatuvar ve antioksidan etkileri postbiyotik kullanımının önemini arttırmaktadır. Olası yan etkilerinin az olması umut vadeci gibi olsa da yapılan çalışmalar yeterli düzeyde değildir. Bunun için postbiyotiklerin etki mekanizmalarının daha kapsamlı araştırılması ve tanımlamalarının daha güçlü yapılması adına çalışmaların sayısı daha da artırılmalıdır.

Sonuç itibarıyla, biyotik uygulamalarının fonksiyonel gıda olarak potansiyelleri oldukça yüksektir. Bu durum, oldukça iyi bir özellik olsa da tüketiminde herhangi bir olumsuzluk yaşanmaması için in vitro ve in vivo çalışmaların dikkatle incelenmesi, FAO/WHO ve Türk Gıda Kodeksi'nin belirlediği değerler bazında tüketiminin sağlanması gerekmektedir.

Postbiotics. *Nutrients*, 16(22), 3955. <https://doi.org/10.3390/nu16223955>

Anderson, M. H., Ait-Aissa, K., Sahyoun, A. M., Abidi, A. H. and Kassan, M. (2024). Akkermansia muciniphila as a Potential Guardian against Oral Health Diseases: A Narrative Review. *Nutrients*, 16(18), 3075. <https://doi.org/10.3390/nu16183075>

Anonim (2017). Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği. Resmî Gazete, 29960: 26/01/2017, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170126M1-5.htm> . (Erişim tarihi: 04.06.2025).

- Balthazar, C. F., Guimarães, J. F., Coutinho, N. M., Pimentel, T. C., Ranadheera, C. S., Santillo, A. and Sant'Ana, A. S. (2022). The future of functional food: Emerging technologies application on prebiotics, probiotics and postbiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2560-2586. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12962>
- Beteri, B., Barone, M., Turrone, S., Brigidi, P., Tzortzis, G., Vulevic, J. ve Costabile, A. (2024). Impact of Combined Prebiotic Galacto-Oligosaccharides and Bifidobacterium breve-Derived Postbiotic on Gut Microbiota and HbA1c in Prediabetic Adults: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Study. *Nutrients*, 16(14), 2205. <https://doi.org/10.3390/nu16142205>
- Bhoir, S. A., Sharma, D. and Jamdar, S. (2025). Millets, pulses, and oil seeds-based flatbread premix: A protein-rich functional food for healthier dietary habits and prevention of lifestyle disorders. *Journal of Food Science*, 90(4), e70209. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70209>
- Capponi, M., Gori, A., De Castro, G., Ciprandi, G., Anania, C., Brindisi, G. ve Zicari, A. M. (2022). (R) Evolution in allergic rhinitis add-on therapy: from probiotics to Postbiotics and parabiotics. *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), 5154. <https://doi.org/10.3390/jcm11175154>
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M. ve Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Research International*, 136, 109502. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502>
- Erik, S. and Ormancı, F. S. B. (2022). Probiyotik kültür ile üretilen peynirler. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi*, (3), 43-54.
- Eswaran, S., Chey, W. D., Jackson, K., Pillai, S., Chey, S. W. and Han-Markey, T. (2017). A diet low in fermentable oligo-, di-, and monosaccharides and polyols improves quality of life and reduces activity impairment in patients with irritable bowel syndrome and diarrhea. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 15(12), 1890-1899. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.06.044>
- Fraberger, V., Call, L. M., Domig, K. J. and D'Amico, S. (2018). Applicability of yeast fermentation to reduce fructans and other FODMAPs. *Nutrients*, 10(9), 1247. <https://doi.org/10.3390/nu10091247>
- Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D. ve Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Critical Reviews in Food Science And Nutrition*, 61(9), 1515-1536. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761773>
- Gibson, G. R., Beatty, E. R., Wang, X. I. N. ve Cummings, J. H. (1995). Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology*, 108(4), 975-982. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(95\)90192-2](https://doi.org/10.1016/0016-5085(95)90192-2)
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J. ve Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 14(8), 491-502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Gu, Q., Yin, Y., Yan, X., Liu, X., Liu, F. and McClements, D. J. (2022). Encapsulation of multiple probiotics, synbiotics, or nutrabiobiotics for improved health effects: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 309, 102781. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102781>
- Guarino, M. P. L., Altomare, A., Emerenziani, S., Di Rosa, C., Ribolsi, M., Balestrieri, P. and Cicala, M. (2020). Mechanisms of action of prebiotics and their effects on gastro-intestinal disorders in adults. *Nutrients*, 12(4), 1037. <https://doi.org/10.3390/nu12041037>
- Guo, S., Ma, T., Kwok, L. Y., Quan, K., Li, B., Wang, H. and Chen, Y. (2024). Effects of postbiotics on chronic diarrhea in young adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover trial assessing clinical symptoms, gut microbiota, and metabolite profiles. *Gut Microbes*, 16(1), 2395092. <https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2395092>
- Hillman, E. T., Kozik, A. J., Hooker, C. A., Burnett, J. L., Heo, Y., Kiesel, V. A. and

Lindemann, S. R. (2020). Comparative genomics of the genus *Roseburia* reveals divergent biosynthetic pathways that may influence colonic competition among species. *Microbial Genomics*, 6(7), e000399. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000399>

Huang, Y., Cao, J., Zhu, M., Wang, Z., Jin, Z. and Xiong, Z. (2024). Nontoxigenic *Bacteroides fragilis*: A double-edged sword. *Microbiological Research*, 127796. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127796>

Ishwarya, S. and Prabhasankar, P. (2014). Prebiotics: Application in bakery and pasta products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(4), 511-522. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.590244>

Islam, F., Azmat, F., Imran, A., Zippi, M., Hong, W., Tariq, F. and Suleria, H. A. (2024). Role of postbiotics in food and health: a comprehensive review. *CyTA-Journal of Food*, 22(1), 2386412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2386412>

İçier, S., Güzelcan, C., Hıdır, Ş. ve Türköz, B. K. (2022). Postbiyotikler ve gıda endüstrisinde kullanım alanları. *Gıda*, 47(2), 252-265. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21145>

Ji, J., Jin, W., Liu, S. J., Jiao, Z. and Li, X. (2023). Probiotics, prebiotics, and postbiotics in health and disease. *MedComm*, 4(6), e420. <https://doi.org/10.1002/mco2.420>

Kango, N. and Nath, S. (2024). Prebiotics, Probiotics and Postbiotics: The Changing Paradigm of Functional Foods. *Journal of Dietary Supplements*, 21(5), 709-735. <https://doi.org/10.1080/19390211.2024.2363199>

Khalaf, A. T., Wei, Y., Alneamah, S. J. A., Al-Shawi, S. G., Kadir, S. Y. A., Zainol, J. and Liu, X. (2021). What is new in the preventive and therapeutic role of dairy products as nutraceuticals and functional foods. *BioMed Research International*, 2021(1), 8823222. <https://doi.org/10.1155/2021/8823222>

Kolida, S. and Gibson, G. R. (2011). Synbiotics in health and disease. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2(1), 373-393.

<https://doi.org/10.1146/annurev-food-022510-133739>

Kumar, D., Lal, M. K., Dutt, S., Raigond, P., Changan, S. S., Tiwari, R. K. and Singh, B. (2022). Functional fermented probiotics, prebiotics, and Synbiotics from non-dairy products: A perspective from nutraceutical. *Molecular Nutrition & Food Research*, 66(14), 2101059. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202101059>

Lee, M., Bang, W. Y., Lee, H. B., Yang, S. Y., Lee, K. S., Kang, H. J. and Yang, J. (2024). Safety Assessment and Evaluation of Probiotic Potential of *Lactobacillus bulgaricus* IDCC 3601 for Human Use. *Microorganisms*, 12(10), 2063. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102063>

Manzoor, M., Singh, J., Bandral, J. D., Gani, A. and Shams, R. (2020). Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 554-567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>

Markowiak, P. and Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9 (9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>

Megen, F., Skodje, G. I., Lergenmuller, S., Zühlke, S., Aabakken, L., Veierød, M. B. and Lundin, K. E. (2022). A low FODMAP diet reduces symptoms in treated celiac patients with ongoing symptoms—a randomized controlled trial. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 20(10), 2258-2266. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2022.01.011>

Mohd Fuad, A. S., Amran, N. A., Nasruddin, N. S., Burhanudin, N. A., Dashper, S. and Arzmi, M. H. (2023). The mechanisms of probiotics, prebiotics, synbiotics, and postbiotics in oral cancer management. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 15(5), 1298-1311. <https://doi.org/10.1007/s12602-022-09985-7>

Nagpal, R., Kumar, A., Kumar, M., Behare, P. V., Jain, S. and Yadav, H. (2012). Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: a review. *FEMS Microbiology Letters*, 334(1), 1-15. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2012.02593.x>

- Nakilcioğlu, E. and Nurko, E. (2023). Gıda endüstrisinde simbiyotikler, postbiyotikler ve paraprobiyotikler. *Gıda*, 48(1), 144-159. <https://doi.org/10.15237/gida.GD22089>
- Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V. and Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19, 1-22. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Nuriler, T. ve Uyarcan, M. (2024). Fonksiyonel et ürünlerinin üretiminde probiyotik, prebiyotik ve sinbiyotik kullanımına yönelik yeni eğilimler. *Gıda*, 49(1), 25-38. <https://doi.org/10.15237/gida.GD23111>
- Ohama, H., Ikeda, H. and Moriyama, H. (2006). Health foods and foods with health claims in Japan. *Toxicology*, 221, 95-111. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Oniszczuk, A., Oniszczuk, T., Gancarz, M. And Szymańska, J. (2021). Role of gut microbiota, probiotics and prebiotics in the cardiovascular diseases. *Molecules*, 26(4), 1172. <https://doi.org/10.3390/molecules26041172>
- Panesar, P. S., Kumari, S. and Panesar, R. (2013). Biotechnological approaches for the production of prebiotics and their potential applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 33(4), 345-364. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.709482>
- Peng, M., Tabashsum, Z., Anderson, M., Truong, A., Houser, A. K., Padilla, J. and Biswas, D. (2020). Effectiveness of probiotics, prebiotics, and prebiotic-like components in common functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1908-1933. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12565>
- Peters, S. L., Yao, C. K., Philpott, H., Yelland, G. W., Muir, J. G. and Gibson, P. R. (2016). Randomised clinical trial: the efficacy of gut-directed hypnotherapy is similar to that of the low FODMAP diet for the treatment of irritable bowel syndrome. *Alimentary pharmacology and Therapeutics*, 44(5), 447-459. <https://doi.org/10.1111/apt.13706>
- Pitsch, J., Sandner, G., Huemer, J., Huemer, M., Huemer, S. and Weghuber, J. (2021). FODMAP fingerprinting of bakery products and sourdoughs: Quantitative assessment and content reduction through fermentation. *Foods*, 10(4), 894. <https://doi.org/10.3390/foods10040894>
- Rovinaru, C. and Pasarin, D. (2020). Application of microencapsulated synbiotics in fruit-based beverages. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(2), 764-773. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09579-w>
- Sanders, M. E., Akkermans, L. M., Haller, D., Hammerman, C., Heimbach, J. T., Hörmannspurger, G. and Huys, G. (2010). Safety assessment of probiotics for human use. *Gut Microbes*, 1(3), 164-185. <https://doi.org/10.4161/gmic.1.3.12127>
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Ouwehand, A. C., Reid, G., Salminen, S., Cabana, M. D. and Leyer, G. (2016). Probiotic use in at-risk populations. *Journal of the American Pharmacists Association*, 56(6), 680-686. <https://doi.org/10.1016/j.japh.2016.07.001>
- Sarao, L. K. and Arora, M. (2017). Probiotics, prebiotics, and microencapsulation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 344-371. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.887055>
- Sharma, S., Singh, A., Sharma, S., Kant, A., Sevda, S., Taherzadeh, M. J., and Garlapati, V. K. (2021). Functional foods as a formulation ingredients in beverages: technological advancements and constraints. *Bioengineered*, 12(2), 11055-11075. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.2005992>
- Shoab, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R. and Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444-454. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- Siciliano, R. A., Reale, A., Mazzeo, M. F., Morandi, S., Silvetti, T. and Brasca, M. (2021). Paraprobiotics: A new perspective for functional foods and nutraceuticals. *Nutrients*, 13(4), 1225. <https://doi.org/10.3390/nu13041225>
- Średnicka, P., Juszczuk-Kubiak, E., Wójcicki, M., Akimowicz, M. and Roszko, M. (2021). Probiotics as a biological detoxification tool of food chemical

contamination: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 153, 112306. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112306>

Şanlıer, N. (2019). Probiyotikler, Prebiyotikler ve Diabetes Mellitus. *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 11(2), 63-70.

Şengün, İ. Y. and Yahşi, Y. (2021). Probiyotiklerin meyve ve sebze bazlı içeceklerde kullanımı. *Akademik Gıda*, 19(2), 208-220. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.977306>

Tatar, B. ve Öztürk, H. İ. (2022). The Concepts of Functional Component Beyond Probiotics: Postbiotics and Paraprobiotics. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(9), 1747-1755. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i9.1747-1755.5439>

Thorakkattu, P., Khanashyam, A. C., Shah, K., Babu, K. S., Mundanat, A. S., Deliephan, A. and Nirmal, N. P. (2022). Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry. *Foods*, 11(19), 3094. <https://doi.org/10.3390/foods11193094>

Tian, P., Zou, R., Wang, L., Chen, Y., Qian, X., Zhao, J. and Chen, W. (2023). Multi-Probiotics ameliorate Major depressive disorder and accompanying gastrointestinal syndromes via serotonergic system regulation. *Journal of Advanced Research*, 45, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.05.003>

Topolska, K., Florkiewicz, A. and Filipiak-Florkiewicz, A. (2021). Functional food—Consumer motivations and expectations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5327. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105327>

Vera-Santander, V. E., Hernández-Figueroa, R. H., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E. and López-Malo, A. (2023). Health benefits of consuming foods with bacterial probiotics, postbiotics, and their metabolites: a review. *Molecules*, 28(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/molecules28031230>

Vinderola, G., Sanders, M. E. and Salminen, S. (2022). The concept of postbiotics. *Foods*, 11(8), 1077. <https://doi.org/10.3390/foods11081077>

Wang, R., Yifei, F. Y., Weiru, R. Y., Sun, S. Y., Lei, Y. M., Li, Y. X. and Chen, J. (2025). Roles of probiotics, prebiotics, and postbiotics in B-cell-mediated immune regulation. *The Journal of Nutrition*, 155(1), 37-51. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2024.11.011>

Williams, N. T. (2010). Probiotics. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 67(6), 449-458. <https://doi.org/10.2146/ajhp090168>

Xiao, Y., Chen, Q., Guang, C., Zhang, W. and Mu, W. (2019). An overview on biological production of functional lactose derivatives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 3683-3691. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09755-6>

Zepeda-Hernández, A., Garcia-Amezquita, L. E., Requena, T. and García-Cayuela, T. (2021). Probiotics, prebiotics, and synbiotics added to dairy products: Uses and applications to manage type 2 diabetes. *Food Research International*, 142, 110208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110208>

Zhang, H., Duan, Y., Cai, F., Cao, D., Wang, L., Qiao, Z. and Zhu, B. (2022). Next-generation probiotics: microflora intervention to human diseases. *BioMed Research International*, 2022(1), 5633403. <https://doi.org/10.1155/2022/5633403>

Zhao, Y., Yang, H., Wu, P., Yang, S., Xue, W., Xu, B. and Xu, D. (2024). Akkermansia muciniphila: A promising probiotic against inflammation and metabolic disorders. *Virulence*, 15(1), 2375555. <https://doi.org/10.1080/21505594.2024.2375555>

Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P. and Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782-2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>