

GIDA BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE ARAŞTIRMALAR II

EDİTÖR
Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ



İKSAD
Publishing House

GIDA BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE ARAŞTIRMALAR II

EDİTÖR

Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ

YAZARLAR

Prof. Dr. Erhan KEYVAN

Dr. Öğr. Üyesi Berna GENÇ

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ŞİMŞEK

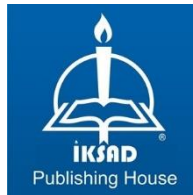
Dr. Songül ŞAHİN ERCAN

Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ

Öğr. Gör. Mustafa ATALAN

Naim ISGANDAROV

Vet. Hek. Mehmet Ali BOZKURT



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-432-4

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN ÖNSÖZ

Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ.....1

BÖLÜM 1

GIDA ENDÜSTRİSİ YAN ÜRÜNLERİNDEN FERMENTE ÜRÜN ÜRETİMİ: DÖNGÜSEL EKONOMİ PERSPEKTİFİ

Dr. Öğr. Üyesi Berna GENÇ.....3

BÖLÜM 2

GIDALARDAKİ ANTİOKSİDAN ENZİMLERİN SAĞLIĞIMIZ İÇİN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ŞİMŞEK.....21

BÖLÜM 3

PROFESYONEL MUTFAKLARDA ÜRETİLEN BİTKİ BAZLI FERMENTE SOSLARIN İNSAN SAĞLIĞI İÇİN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ŞİMŞEK

Naim ISGANDAROV.....33

BÖLÜM 4

GIDALARDA TOKSİK METAL ANALİZİNDE ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROFOTOMETRESİ

Dr. Songül Şahin ERCAN.....51

BÖLÜM 5

FERMENTE GIDALARIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Erhan KEYVAN

Vet. Hek. Mehmet Ali BOZKURT.....73

BÖLÜM 6

ASPARTAM VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ.....123

BÖLÜM 7

KATEŞİN

Öğr. Gör. Mustafa ATALAN.....139

ÖN SÖZ

Gıda bilimi ve teknolojisi, insanlığın en temel gereksinimi olan beslenmeyi güvenli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir çerçevede ele alan çok disiplinli bir alandır. Artan dünya nüfusu, değişen tüketici beklentileri, çevresel etkiler ve küresel ölçekte giderek önem kazanan gıda güvenliği sorunları, bu alanda yürütülen araştırmaların değerini her geçen gün artırmaktadır. ***Gıda Bilimi ve Teknolojisinde Güncel Yaklaşımlar ve Araştırmalar II*** adlı bu eser, güncel bilimsel çalışmalar ışığında oluşturulan bilgi birikimini disiplinler arası bir yaklaşımla okuyuculara sunmayı amaçlayan kapsamlı bir kaynak niteliğindedir.

Bu kitap, farklı uzmanlık alanlarından araştırmacıların katkılarıyla hazırlanmış olup hem akademik dünyaya hem de endüstri profesyonellerine değerli bilgiler sağlamayı hedeflemektedir. Kitap bölümleri; döngüsel ekonomi kapsamında gıda yan ürünlerinin değerlendirilmesinden toksik metal analiz yöntemlerine, fermantasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerinden bitki bazlı sosların besinsel ve gastronomik önemine, tatlandırıcıların sağlık boyutundan doğal bileşiklerin biyolojik etkilerine uzanan geniş bir konu çeşitliliğini içermektedir.

Bu kitabın ortaya çıkmasına katkı sağlayan tüm yazarlarımıza bilimsel titizlikleri, güncel literatüre sundukları değerli katkılar ve özverili emekleri için içten teşekkür ederim. Ayrıca kitabın hazırlanma sürecinde destek veren tüm akademik ve teknik ekip üyelerine de şükranlarımı sunuyorum.

Temennim; bu eserin araştırmacılara yeni bakış açıları kazandırması, ilgili alanlarda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutması ve gıda bilimi ve teknolojisi alanında bilgiye erişimi kolaylaştırmasıdır. Bu kitabın alanın gelişimine katkı sağlayacağına, yeni araştırmalara ilham vereceğine ve sürdürülebilir bir gıda geleceği için farkındalık oluşturacağına inanıyorum. Bilimin sürekli gelişen doğası içinde, bu kaynağın hem öğrenciler hem de profesyoneller için güncel ve güvenilir bir başvuru eseri niteliği taşımasını diliyorum.

Bilimsel merakın, üretkenliğin ve yenilikçi yaklaşımların daima yol gösterici olması dileğiyle...

Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ

Editör

BÖLÜM 1

GIDA ENDÜSTRİSİ YAN ÜRÜNLERİNDEN FERMENTE ÜRÜN ÜRETİMİ: DÖNGÜSEL EKONOMİ PERSPEKTİFİ

Dr. Öğr. Üyesi Berna GENÇ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17869781>

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Gümüşhane, Türkiye. bernagenc@gumushane.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2790-9578

GİRİŞ

Gıda üretim zinciri, yalnızca hammaddenin tarımsal üretimi ve tüketiciye ulaşması aşamalarını değil; aynı zamanda yan ürünlerin ve atıkların oluştuğu işleme süreçlerini de içerir. Özellikle endüstriyel düzeyde işlenen gıda ürünlerinde, meyve-sebze kabukları, posaları, süt işleme yan ürünleri, zeytin posası, bira posası gibi pek çok yan ürün açığa çıkmaktadır. Bu yan ürünler geleneksel olarak atık ya da düşük değerli materyal olarak değerlendirilmektedir. Ancak artan dünya nüfusuna paralel olarak gıda endüstrisi atık miktarlarındaki artış ve bu atıkların çevresel etkileri, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerine geçişi zorunlu kılmaktadır. Bu model, gıda tedarik zincirinde oluşan atıkların ve yan ürünlerin döngüsel ekonomiye dâhil edilmesi ve kaynak kullanımının optimize edilmesi ile çevresel etkinin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda bir fazın çıktısının diğerinin girdisi olarak kullanılması ile doğal süreçleri taklit eden dairesel bir akış sağlanır. Bu akışı taklit etmenin en kolay ve etkili çözümü fermantasyon stratejilerini kullanmaktır. Çıktının yani yan ürünlerin fermantasyon gibi biyoteknolojik yollarla katma değerli ürünlere dönüştürülmesi, hem döngüsel ekonomi çerçevesinde kaynak verimliliğini artırmakta hem de çevresel yükü azaltma potansiyeli taşımaktadır. Bu bölümde, önce literatürde gıda yan ürünlerinin durumu ve döngüsel ekonomi bağlamında değerlendirilmesini, sonra fermente ürün üretimi özelinde fermantasyonun rolü, ardından Türkiye'deki mevcut durumu, uygulama örnekleri ve sonuç önerileri sunulacaktır.

1. DÖNGÜSEL EKONOMİ NEDİR?

Döngüsel ekonomi, günümüzün artan atık miktarları ve çevresel etkilerine bir yanıt olarak ortaya çıkan, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerine dayalı bir yaklaşımdır. Gıda endüstrisi bağlamında atıkları yalnızca bir sorun olarak görmek yerine değerli bir kaynak olarak değerlendirmektedir (Ortiz-Sanchez ve ark., 2023; Rao ve ark., 2021)

Döngüsel ekonomi, doğrusal "al-yap-tüket-at" modelinden farklı olarak, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve çevresel etkiyi azaltmayı hedefler (Di Stefano ve ark., 2021; Rao ve ark., 2021). Bu modelde, bir sürecin çıktısı diğerinin girdisi olarak işlev görerek doğal süreçleri taklit eden dairesel bir akış sağlanır (Alzaabi ve ark., 2024). Temel amaç, atık üretimini en aza indirmek ve

mevcut kaynakların değerini mümkün olduğunca uzun süre korumaktır (Şekil 1). Özellikle gıda endüstrisindeki atık ve yan ürünlerin yönetimi, döngüsel ekonomi modeline geçişi zorunlu kılmaktadır (Mateo and Maicas, 2015).



Şekil 1. Doğrusal ve döngüsel ekonominin genel hatları

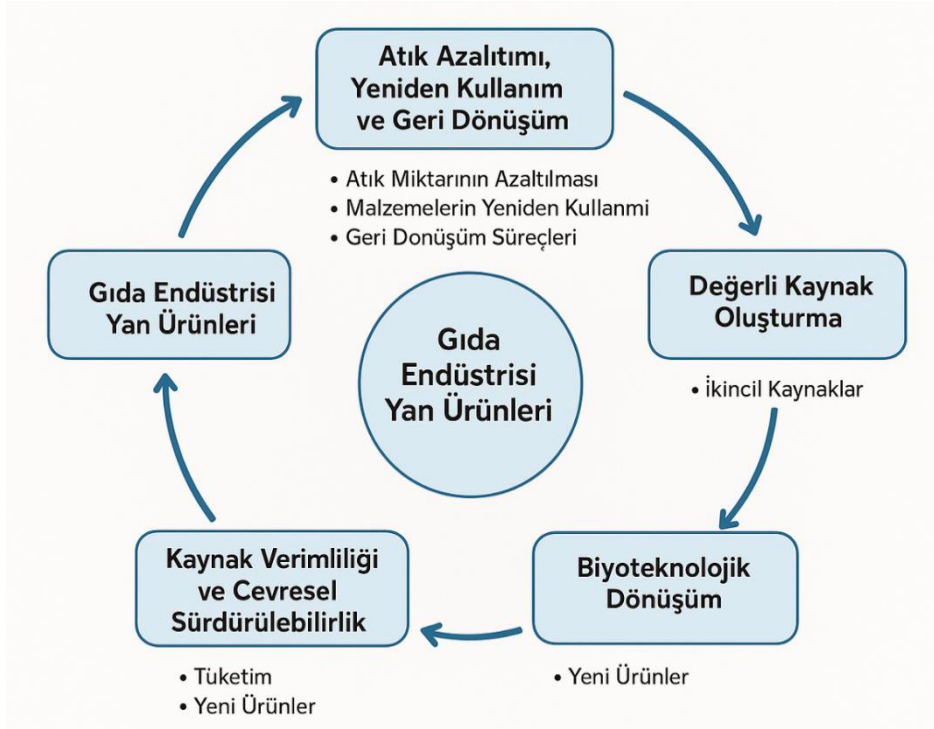
(<https://dongusel.csb.gov.tr/hakkinda-i-105778>).

Döngüsel ekonominin temel ilkelerini dört temel başlıkta gruplandırmak mümkündür; i) Atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi, ii) atıkların ikincil kaynak olarak değerlendirilmesini sağlayarak, geleneksel bertaraf yöntemlerinin çevresel yükünü hafifletme ve yeni değer zincirleri oluşturma, iii) özellikle gıda tedarik zincirindeki atık miktarını azaltarak ve kaynak verimliliğini artırarak çevresel sürdürülebilirliği destekleme ve iv) biyoteknolojik dönüşüm ya da fermentasyon (Demirci ve ark., 2025; Gugel ve ark., 2024; Pakseresht ve ark., 2023; Pal ve ark., 2024; Udugama ve ark., 2020). Bu bölümde gıda –tarım sektörü özelinde döngüsel ekonomi yaklaşımında biyoteknolojik dönüşüm yani fermentasyon konusuna detaylıca değinilecektir.

2. DÖNGÜSEL EKONOMİ VE GIDA ENDÜSTRİSİ ATIKLARI

Küresel üretim ve tüketim zincirinde, tarım-gıda sektörü yüksek miktarda yan ürün ve atık üretimiyle dikkat çekmektedir. Tahminlere göre, dünya genelinde üretilen gıdaların yaklaşık dörtte biri ile üçte biri atık hâline gelmektedir (Gökmen, 2024). Gıda endüstrisindeki atık ve yan ürünlerin

yönetimi, hem ekonomik hem de çevresel açılardan önemli sorunlar yaratmaktadır (Mateo ve Maicas, 2015). Karşılaşılan bu sorunlar, ulusal ve uluslararası yönetimleri, atık azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm odaklı döngüsel ekonomi modeline yöneltmiştir (Şekil 2) ve bu model, özellikle gıda atıklarının yüksek hacmi ve çevresel etkileri göz önüne alındığında, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir (Pal ve ark., 2024). Sınırlı kaynaklara bağımlı klasik ekonomik modelin yerine bu yaklaşımda gıda endüstrisi yan ürünleri biyoteknolojik yöntemlerle değerli ürünlere dönüştürülerek atık üretiminin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (Demirci ve ark., 2025; Gugel ve ark., 2024). Bu sayede çevresel yük hafifletilmekte ve yeni katma değer alanları oluşturulabilmektedir (Udugama ve ark., 2020).



Şekil 2. Döngüsel ekonomi modelinde gıda yan ürünlerinin döngüsü.

3. FERMANTASYONDAN KATMA DEĞERE

Mevcut doğrusal ekonomik modelde hammadde doğadan alınır, işlenerek ürünler üretilir ve üretim sonundaki atık atılır. Döngüsel ekonomi

modelinde ise, atık üretimi en baştan azaltılarak ilerlenir ve hatta durdurulur. Yan ürünlerin fermantasyon yoluyla değerlendirilmesi, döngüsel ekonominin bu ürünlerden değer elde etme ilkeleriyle doğrudan örtüşmektedir (Velenturf ve Purnell, 2021).

Fermantasyon, düşük değerli atıkları yüksek değerli biyoürünlere dönüştürme potansiyeli sunan biyolojik bir süreçtir (Wibisono ve ark., 2025). Temel prensibi, gıda atıklarında bulunan karmaşık organik bileşiklerin, kontrollü koşullar altında belirli metabolik yollar aracılığıyla mikroorganizmalar tarafından daha basit, yüksek değerli ürünlere dönüştürülmesini içermektedir (Sharma ve ark., 2021).

İnsanlık tarihi boyunca gıdaların geleneksel olarak korunmasını sağlayan fermantasyon günümüzde yan ürünlerin değerlendirilmesi, fonksiyonel gıda üretimi ve biyoyenilenebilir materyaller elde edilmesi gibi geniş uygulamalara sahiptir (Karaçıl ve Tek, 2013). Fermantasyon sırasında mikroorganizmaların kullandığı metabolik yollar, kullanılan organizma türleri ve onların ihtiyaç duyduğu büyüme parametreleri optimize edilerek, organik asitler, enzimler ve biyoyakıtlar gibi geniş bir ürün yelpazesini üretmek üzere tasarlanabilir (Jaiswal, 2023) Örneğin, geleneksel olarak süttten yoğurt ve peynir üretimi yani fermantasyonu sırasında açığa çıkan peynir altı suyu gibi atık yan ürünler yüksek vitamin, mineral, protein içerikleri ve probiyotik olmaları sebebiyle bir atık değildir. Döngüsel ekonomi modeline göre uygun koşullar altında bir başka fermantasyon sürecinin girdisi olmaktadır ve protein, peptit, laktik asit ve diğer değerli bileşenler açısından kaynak teşkil etmektedir.

Bu gıda artıkları yalnızca birincil substratlar olarak değil aynı zamanda zengin besin kaynakları olarak da hizmet ederek fermantasyon sırasında mikrobiyal büyümeyi ve ürün verimini artırır (Ortiz-Sanchez ve ark., 2023). Bu kullanım, harici besin takviyesine olan ihtiyacı en aza indirerek fermantasyon sürecinin ekonomik uygulanabilirliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini daha da iyileştirir (García-Chumillas ve ark., 2024). Ayrıca, birçok gıda prosesinde oluşan yan ürünler ve atıkların yüksek şeker içeriği, bunları mikrobiyal fermantasyona uygun hale getirerek çeşitli biyoprosesler için uygun maliyetli ve yenilenebilir bir karbon kaynağı sunar (Kumar ve Longhurst, 2018). Mikroorganizmalar bu gıda atıklarındaki şekerleri laktik asit, süksinik asit veya sitrik asit gibi organik asitler, enzimler, prebiyotikler ve endüstriyel uygulamalar için kritik öncüllere de dönüştürebilir (Maina ve ark., 2017). Bu

süreçte gıda atığının fermantasyon substratı olarak çok yönlülüğü, probiyotik katkı maddesi olması veya mikrobiyal büyüme ortamında bir bileşen olma potansiyeline sahip olması, özellikle gıda atıklarının çevresel etkilerini azaltma ve ekonomik değer yaratma açısından sürdürülebilir bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Mia ve ark., 2025; Pal ve ark., 2024). Özetle, fermantasyon, gıda endüstrisi yan ürünlerinin döngüsel ekonomiye entegrasyonunda kilit bir rol oynayarak, atıkları çevresel tehditlerden ekonomik ürünlere dönüştürebilen bir alternatiftir (Mishra ve ark., 2023; Venugopal ve ark., 2023; Xiong ve ark., 2019).

4. GIDA YAN ÜRÜNLERİ VE FERMANTASYON UYGULAMALARI

Gıda atıklarının katma değerli ürünlere dönüştürülmesine yönelik hazırlanan bir rapora göre, tarım-gıda sektörü dünyada en büyük atık üreticisi olarak gösterilmiştir (Gökmen 2024). Devam eden ve dikkat çeken çalışmaların yanı sıra, gıda endüstrisi yan ürünlerinin ve atıklarının değerlendirilmesine her geçen gün artan bir ilgi söz konusudur.

Gıda-tarım sektörü yan ürünlerinin başında süt endüstrisi gelmektedir. Süt işleme endüstrisinde, peynir ve yoğurt üretimi sonrası büyük hacimlerde yan ürün yani peynir altı suyu ortaya çıkmaktadır. Yüksek su içeriği ile bu materyalin işleme alanları sınırlıdır, ancak uygun fermantasyon koşulları altında, laktik asit bakterileri kullanılarak bu atıktan peptit üretimi veya organik asit üretimi gibi katma değeri yüksek ürünler üretilabilmektedir. Böylece süt endüstrisi yan ürünü, düşük değerli “atık” durumundan “katma değerli kaynak” hâline dönüşebilmektedir.

Meyve ve sebze işleme tesislerinde önemli miktarlarda kabuk, posa ve çekirdek gibi yan ürünler oluşabilmektedir ve genellikle düşük ekonomik değere sahip oldukları için atık hâlinde bertaraf edilmektedirler. Bu atıklar yüksek karbonhidrat ve yağ içeriklerinden dolayı mikrobiyal üreticiler için fermantasyon sürecine önemli bir “girdi” olabilmekte ve bu atıkların fermente edilmesiyle lif, organik asit, aroma bileşenleri, enzim vb. katma değerli bileşenler elde edilebilmektedir (Gul-Guven ve ark., 2022).

Tablo 1. Gıda endüstrisi yan ürünleri ve potansiyel fermente ürünler.

Yan Ürün Kaynağı	Fermantasyon Ürünü	Kullanılan Mikroorganizma
Meyve posası	Biyoetanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Peynir altı suyu	Laktik asit	<i>Lactobacillus spp.</i>
	Protein tozu	<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i>
Bira mayası atığı	Protein hidrolizat	<i>Bacillus subtilis</i>
Zeytin karasuyu	Fenolik ekstrakt	<i>Aspergillus niger</i>
Tahıl kepeği	Enzim (amilaz, proteaz)	<i>Aspergillus oryzae</i>
Domates kabuğu	Likopen ve fenolik asit geri kazanımı	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i>
Pirinç kepeği	Koji fermentasyonu ile enzim üretimi	<i>Aspergillus oryzae</i>
Şeker kamışı posası	Biyoetanol üretimi	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Zymomonas mobilis</i>

Zeytinyağı üretimi sonrası kalan posa ve atıklar ise, yüksek lignoselülozik içerikleri nedeniyle değerlendirilmesi zor yan ürünlerdir. Ancak fermentasyon veya enzimatik ön işlem kombinasyonu ile bu materyallerden biyoyakıt, organik asit veya gıda katkı maddeleri üretilebilmektedir. Gıda-tarım sektörü yan ürünleri ve elde edilebilecek fermente ürünlere bazı örnekler Tablo 1.'de verilmiştir.

5. GIDA-TARIM ATIK ÜRÜNLERİNDEN ELDE EDİLEN FERMENTE ÜRÜNLERE ÖRNEKLER

5.1. Organik Asit Üretimi

Organik asitler, gıda endüstrisinden elde edilen yan ürünlerin fermentasyonu yoluyla üretilen önemli katma değerli kimyasallardır. Süt endüstrisinden elde edilen peynir altı suyu, yüksek laktoz içeriği sayesinde laktik asit üretimi için uygun bir substrat olarak değerlendirilmektedir. Bu dönüşüm sayesinde bir gıda atığından elde edilen laktik asit ilaç, kozmetik,

deterjan ve gıda katkı maddesi olarak birçok alanda kullanılabilmektedir (Xiong ve ark., 2019). Primer metabolit olarak laktik asit üretmenin yanı sıra peynir altı suyunun fermantasyonu süreci ile aynı zamanda fenolik bileşikler, vitaminler, amino asitler ve peptitler gibi birçok farklı biyoaktif sekonder bileşikler de elde edilebilmektedir (Razola-Díaz ve ark., 2024). Yıllık 200 milyon tonu aşan küresel peynir altı suyu üretimi ve bol miktarda laktoz, protein ve mineral içermesi peynir altı suyunu mikrobiyal fermantasyon için değerli bir hammadde haline getirirken, oluşan atık hacmi ise sürdürülebilir işleme alternatiflerine olan ihtiyacın aciliyetini vurgulamaktadır (Costa ve ark., 2020; Malos ve ark., 2025; Olszewska-Widdrat ve ark., 2023).

5.2. Biyopolimer ve EPS Üretimi

Biyobozunur bir polimer olan poli(laktik asit), gıda atıklarından mikrobiyal olarak üretilen laktik asitten türetilir ve bu sayede geleneksel plastiklere çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Polilaktik aside ek olarak, gıda endüstrisi yan ürünlerinin mikrobiyal fermantasyonu yoluyla çeşitli ekzopolisakkaritler ve diğer biyopolimerler üretilir ve bunlar gıda koyulaştırıcılarından biyomedikal malzemelere kadar çok sayıda uygulamada kullanım alanı bulmaktadır (Minervini ve ark., 2012). Çeşitli yapıları ve işlevleriyle karakterize edilen bu biyopolimerler, atık akışlarını yüksek değerli ürünlere dönüştürerek plastik kirliliğini azaltmak ve gıda endüstrisinin döngüsellikini artırmak için umut verici yollar sunar (Kumar and Longhurst, 2018).

5.3. Enzim Üretimi

Gıda endüstrisi yan ürünlerinden enzim üretimi, atıkların biyolojik dönüşüm potansiyelini değerlendirmenin bir başka önemli yolunu temsil eder. Bu süreç, özellikle nişasta bazlı yan ürünlerden amilaz, selülozik atıklardan selülaz ve pektin içeren meyve posalarından pektinaz gibi endüstriyel olarak değerli enzimlerin üretiminde önemli bir potansiyel sunmaktadır (Teigiserova ve ark., 2019). Mikroorganizmalar aracılığıyla gerçekleştirilen enzim üretimi, sadece atık yönetimine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda enzimlerin deterjan, gıda işleme, biyoyakıt ve tekstil gibi çeşitli sektörlerde kullanımını destekleyerek katma değer yaratır (Torres-León ve ark., 2021). Özellikle *Aspergillus niger* gibi mikroorganizmalar, yüksek enzim verimlilikleri

nedeniyle tercih edilmekte ve bu geri dönüşüm süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Meyve kalıntıları, patates kabukları, buğday kepeği ve deniz ürünleri işleme atıkları dahil olmak üzere çeşitli gıda atıklarından lignoselülozik, pektinolitik, proteaz ve lipaz gibi enzimler sıklıkla üretilmektedir (Xiong ve ark., 2019). Bu enzimlerin üretimi, substrat olarak kullanılan gıda atıklarının kimyasal ve besinsel bileşimine, mikroorganizma türüne ve fermantasyon koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çok yönlülük, düşük değerli yan ürünleri yüksek değerli biyokimyasallara dönüştürerek döngüsel ekonomi prensipleriyle uyumlu, atık üretim proseslerinde verimi en üst düzeye çıkaran sonuçların elde edilmesine olanak tanır (Lima ve ark., 2025; Martáu ve ark., 2025).

5.4. Probiyotik ve Postbiyotik Üretimi

Probiyotikler, insan veya hayvan bağırsak mikrobiyotasının iyileştirilmesini, patojenlerin rekabetçi dışlanması, bağırsak bariyerinin güçlendirilmesini ve bağışıklık sisteminin modülasyonunu sağlayan mikroorganizmalardır (Latif ve ark., 2023; Sanders ve ark., 2019; Schrezenmeir ve De Vrese, 2001). Prebiyotikler ise konağın mikroorganizmaları tarafından üretilen, sindirim enzimleri tarafından parçalanmadan bağırsağın distal kısımlarına ulaşarak buradaki yararlı bakteriler tarafından fermente edilen substratlardır (Gibson ve ark., 2017; Rau ve ark., 2024).

Postbiyotik ise konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan cansız mikroorganizmalar ve/veya bunların bileşenleridir. Bu bileşenler kısa zincirli yağ asitleri, ekzopolisakkaritler, vitaminler, teikoik asitler, bakteriyosinler, enzimler ve peptitler bulunabilir. Bu bileşenler, bağırsak sağlığını iyileştirme, iltihabı azaltma ve bağırsak patojenlerine karşı antimikrobiyal aktiviteyi destekleme gibi çeşitli sağlık faydaları sağlayabilir (Scott ve ark., 2022). Kısacası, postbiyotikler, probiyotiklerin kendileri değil, onların hücreleri veya parçaları ile metabolik ürünleri gibi, cansız ama yine de faydalı bileşenleridir.

Gıda yan ürünlerinden probiyotik ve postbiyotik üretimi, bağırsak sağlığına yönelik faydaları nedeniyle hızla büyüyen bir alan olup, fermantasyon yoluyla mikrobiyal biyokütle ve biyoaktif bileşenlerin elde edilmesini içermektedir. Bu süreçte, çeşitli gıda atıkları, özellikle peynir altı suyu ve meyve posaları gibi şeker açısından zengin substratlar, laktik asit bakterileri

gibi probiyotik mikroorganizmaların büyümesi ve metabolit üretimi için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, sadece atıkların değerlendirilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda insan sağlığına faydalı ürünler sunarak gıda endüstrisinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunur. Fermente ürün üretimi, hem probiyotiklerin kendisi hem de onların ürettiği postbiyotikler aracılığıyla gıda güvenliği ve beslenme kalitesini artırma potansiyeli taşır (Wang ve ark., 2022). Ayrıca, bu yöntemlerle üretilen probiyotik ve postbiyotikler, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatma ve duyuşal özelliklerini geliştirme potansiyeline de sahiptir. Bu durum, gıda endüstrisinin biyoekonomi yaklaşımını benimseyerek hem çevresel etkileri azaltmasına hem de ekonomik değer yaratmasına olanak tanır. Gıda-tarım atıklarının probiyotik ve postbiyotik üretim için değerlendirilmesinde dikkat çeken bir diğer nokta kültürlenme yöntemi olabilmektedir. Çevresel atıkların minimuma indirilmesi noktasında, katı hal fermantasyonu derin kültür yöntemine oranla hem daha ekonomik hem de çevresel avantajlar sunması nedeniyle özellikle önemlidir (Ray ve ark., 2025; Šelo ve ark., 2021).

6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ, GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE ZORLUKLAR

Fermentasyon teknolojileri, gıda atıklarının dönüştürülmesinde sürekli olarak yeni ve gelişmiş yöntemler sunarak, hem ürün çeşitliliğini artırmakta hem de süreç verimliliğini iyileştirmektedir (Abbaspour, 2024). Gıda endüstrisi yan ürünlerinden fermente ürün üretimi alanındaki gelecek perspektifleri, biyoteknolojik süreçlerin daha da optimize edilmesi ve yeni mikrobiyal suşların keşfiyle şekillenebilir (Di Renzo ve Reale, 2025; Singh ve Kumar, 2025). Özellikle, sensör teknolojileri ve yapay zeka entegrasyonu sayesinde fermentasyon proseslerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve optimizasyonu, üretim maliyetlerini düşürürken ürün kalitesini artırmaktadır. Bu gelişmiş izleme, mikrobiyal aktivite ve metabolit üretimi üzerinde hassas bir kontrol sağlayarak gıda yan ürünlerinden istenen bileşiklerin daha yüksek verimle elde edilmesini sağlayabilmektedir (Gugel ve ark., 2024). Özel olarak tasarlanmış mikrobiyal konakçıların belirli işlevsel bileşenler üretmek için kullanıldığı hassas fermentasyon tekniklerinin geliştirilmesi ile örneğin gıda endüstrisindeki sürdürülebilirlik ve etik kaygıların sıklıkla dile getirildiği hayvansal ürünlerden ürün üretimi için önemli bir alternatif ortaya

çıkabilecektir (Venugopal ve ark., 2023). Özellikle bitki bazlı gıda fermentasyonundaki bu yenilikler, fermentasyonun geleneksel ve hayvansal gıda kaynaklarına besleyici ve çevre dostu alternatifler sunarak gıda üretimiyle ilişkili ekolojik ayak izini önemli ölçüde azaltma potansiyelini açığa çıkarabilecektir (Abbaspour, 2024; Siddiqui ve ark., 2023). Dahası, tarımsal gıda atıklarının ve yan ürünlerinin fermentasyon yoluyla değerlendirilmesi, yalnızca değerli bileşikler elde etmekle kalmayıp, aynı zamanda atık oluşumunu en aza indirerek döngüsel ekonominin "sıfır atık yaklaşımı" ile uyumlu üretim süreçlerini optimize edebilecektir (Spizzirri ve Restuccia, 2024). Bu süreçlere tasarlanmış mikroorganizmaların entegre edilmesi, yeni gıda bileşiklerinin geliştirilmesini daha da hızlandırarak çeşitli gıda endüstrisi yan ürünlerinin daha yüksek değerli ürünler için değerlendirilmesini sağlayabilecektir (Ajayeoba ve Ijabadeniyi, 2025; Teng ve ark., 2021).

Ancak, laboratuvar ölçekli süreçlerin endüstriyel seviyelere ölçeklendirilmesi ve atık biyokütleden elde edilen yeni gıda bileşenleri için düzenleyici uyumluluğun sağlanması gibi zorlukların dikkatle irdelenmesi ve ele alınması gerekmektedir. Dahası, atık malzemelerin fermentasyonundan elde edilen gıda ürünlerine ilişkin kamu algısı ve kabulü, etkili iletişim ve eğitim stratejileri gerektiren önemli bir başka engeli oluşturmaktadır. Bu zorlukların ele alınması, fermente gıda atığı değerlendirme teknolojilerinin yaygın olarak benimsenmesi ve verimliliği daha yüksek olduğu bir gıda sisteminin önünün açılması için çok önemli olacaktır. Yeni fermentasyon teknikleri ve mikrobiyal suşlar üzerine devam eden ve sorun odaklı planlanan araştırmalar, halihazırda bulunan ve oluşabilecek potansiyel sorunları aşma noktasında önemli adımlar atılmasını sağlayacaktır. Mikrobiyologlar, mühendisler ve ekonomistler arasında disiplinler arası iş birliğinin oluşturulması ve devam etmesi, laboratuvar sonuçları ile endüstriyel uygulama arasındaki boşluğu kapatmak ve biyoteknolojik gelişmelerin laboratuvardan sahaya başarılı bir şekilde geçişini sağlamak için hayati önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abbaspour, N. (2024). Fermentation's pivotal role in shaping the future of plant-based foods: An integrative review of fermentation processes and their impact on sensory and health benefits. *Applied Food Research*, 4(2), 100468.
- Ajayeoba, T. A., & Ijabadeniyi, O. A. (2025). Transforming Food for the Future: Precision Fermentation as a Key to Sustainability, Nutrition, and Health. *Nutrition, and Health*.
- Alzaabi, S. A., Chia, W. Y., & Show, P. L. (2024). Exploring the potential of circular economy in the food sector. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 4(2), 620-630.
- Costa, S., Summa, D., Semeraro, B., Zappaterra, F., Rugiero, I., & Tamburini, E. (2020). Fermentation as a strategy for bio-transforming waste into resources: lactic acid production from agri-food residues. *Fermentation*, 7(1), 3.
- Demirci, A., Turhan, I., & Mahdinia, E. (2025). Fermentation and Bioprocess Engineering Processes. *Processes*, 13(3), 598.
- Di Renzo, T., & Reale, A. (2025). Process Optimization and Quality Improvement of Fermented Foods and Beverages. In (Vol. 14, pp. 1238): MDPI.
- Di Stefano, V., Durazzo, A., & Lucarini, M. (2021). Food waste: Treatments, environmental impacts, current and potential uses. In (MDPI): Vol. 14, pp. 234.
- García-Chumillas, S., Guerrero-Murcia, T., Nicolás-Liza, M., Monzó, F., Simica, A., Simó-Cabrera, L., & Martínez-Espinosa, R. M. (2024). PHBV cycle of life using waste as a starting point: from production to recyclability. *Frontiers in Materials*, 11, 1405483.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., & Cani, P. D. (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 & hepatology*, 14(8), 491-502.

- Gökmen, V. (2024). Gıda Atıklarının Katma Değerli Ürünlere Dönüştürülmesi. K. Şahin ve İ. Erol (Eds.), Gıda, Su Kaybı ve İsrafi (In) s. 197-208. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Gugel, I., Marchetti, F., Costa, S., Gugel, I., Baldini, E., Vertuani, S., & Manfredini, S. (2024). 2G-lactic acid from olive oil supply chain waste: olive leaves upcycling via *Lactobacillus casei* fermentation. Applied Microbiology and Biotechnology, 108(1), 379.
- Gul-Guven, R., Guven, K., & Matpan Bekler, F. (2022). Fermente Gıdalar. In Sağlıklı Yaşam ve Beslenme (pp. 337-349). Orient Yayınları.
- Jaiswal, A. K. (2023). Sustainable Utilisation and Management of Food Waste for High-Value Products. In (Vol. 12, pp. 2872): MDPI.
- Karaçıl, M. Ş., & Tek, N. A. (2013). Dünyada üretilen fermente ürünler: tarihsel süreç ve sağlık ile ilişkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(2), 163-174.
- Kumar, V., & Longhurst, P. (2018). Recycling of food waste into chemical building blocks. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 13, 118-122.
- Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., & Khan, I. M. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. Frontiers in Microbiology, 14, 1216674.
- Lima, C. A., Contato, A. G., de Oliveira, F., da Silva, S. S., Hidalgo, V. B., Irfan, M., Gambarato, B. C., Carvalho, A. K., & Bento, H. B. (2025). Trends in enzyme production from Citrus by-products. Processes, 13(3), 766.
- Maina, S., Kachrimanidou, V., & Koutinas, A. (2017). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 8, 18-23.
- Malos, I. G., Pasarin, D., Ghizdareanu, A.-I., & Frunzareanu, B. (2025). A Promising Approach for the Food Industry: Enhancing Probiotic Viability Through Microencapsulated Synbiotics. Microorganisms, 13(2), 336.
- Martău, G.-A., Odochean, R., Dudu, A.-I., Dulf, F. V., Vodnar, D. C., & Tosa, M. I. (2025). Towards circular economy: Agro-industrial by-products

- enabling in situ enzyme production for food and pharmaceutical applications. Available at SSRN 4980725.
- Mateo, J. J., & Maicas, S. (2015). Valorization of winery and oil mill wastes by microbial technologies. *Food Research International*, 73, 13-25.
- Mia, M. S., Ahmed, M. M., & Zzaman, W. (2025). Valorization of food waste into functional ingredients supports a sustainable strategy for the food industry. *Discover Food*, 5(1), 275.
- Minervini, F., Di Cagno, R., Lattanzi, A., De Angelis, M., Antonielli, L., Cardinali, G., Cappelle, S., & Gobbetti, M. (2012). Lactic acid bacterium and yeast microbiotas of 19 sourdoughs used for traditional/typical Italian breads: interactions between ingredients and microbial species diversity. *Applied and environmental microbiology*, 78(4), 1251-1264.
- Mishra, K., Siwal, S. S., Nayaka, S. C., Guan, Z., & Thakur, V. K. (2023). Waste-to-chemicals: Green solutions for bioeconomy markets. *Science of the Total Environment*, 887, 164006.
- Olszewska-Widdrat, A., Xiros, C., Wallenius, A., Schneider, R., Rios da Costa Pereira, L. P., & Venus, J. (2023). Bioprocess optimization for lactic and succinic acid production from a pulp and paper industry side stream. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1176043.
- Ortiz-Sanchez, M., Inocencio-García, P.-J., Alzate-Ramírez, A. F., & Alzate, C. A. C. (2023). Potential and restrictions of food-waste valorization through fermentation processes. *Fermentation*, 9(3), 274.
- Pakseresht, A., Yavari, A., Kaliji, S. A., & Hakelius, K. (2023). The intersection of blockchain technology and circular economy in the agri-food sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 260-274.
- Pal, P., Singh, A. K., Srivastava, R. K., Rathore, S. S., Sahoo, U. K., Subudhi, S., Sarangi, P. K., & Prus, P. (2024). Circular bioeconomy in action: Transforming food wastes into renewable food resources. *Foods*, 13(18), 3007.
- Rao, M., Bast, A., & De Boer, A. (2021). Valorized food processing by-products in the EU: Finding the balance between safety, nutrition, and sustainability. *Sustainability*, 13(8), 4428.
- Rau, S., Gregg, A., Yaceczko, S., & Limketkai, B. (2024). Prebiotics and probiotics for gastrointestinal disorders. *Nutrients*, 16(6), 778.

- Ray, R. C., Behera, S. S., Awogbemi, O., Sooch, B. S., Thatoi, H., Rath, S., & Aguilar-Rivera, N. (2025). Beyond enzymes and organic acids, solid-state fermentation as an alternative for valorizing fruits and vegetable wastes into novel bio-products in a circular economy: A critical review. *AIMS microbiology*, 11(2), 462.
- Razola-Díaz, M. d. C., De Montijo-Prieto, S., Guerra-Hernández, E. J., Jiménez-Valera, M., Ruiz-Bravo, A., Gómez-Caravaca, A. M., & Verardo, V. (2024). Fermentation of orange peels by lactic acid bacteria: Impact on phenolic composition and antioxidant activity. *Foods*, 13(8), 1212.
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 16(10), 605-616.
- Schrezenmeir, J., & De Vrese, M. (2001). Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition. *The American journal of clinical nutrition*, 73(2), 361s-364s.
- Scott, E., De Paepe, K., & Van de Wiele, T. (2022). Postbiotics and their health modulatory biomolecules. *Biomolecules*, 12(11), 1640.
- Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927.
- Sharma, P., Gaur, V. K., Sirohi, R., Varjani, S., Kim, S. H., & Wong, J. W. (2021). Sustainable processing of food waste for production of bio-based products for circular bioeconomy. *Bioresource technology*, 325, 124684.
- Siddiqui, S. A., Erol, Z., Rugji, J., Taşçı, F., Kahraman, H. A., Toppi, V., Musa, L., Di Giacinto, G., Bahmid, N. A., & Mehdizadeh, M. (2023). An overview of fermentation in the food industry-looking back from a new perspective. *Bioresources and bioprocessing*, 10(1), 85.
- Singh, A., & Kumar, S. (2025). Exploring the Functionality of Microbes in Fermented Foods: Technological Advancements and Future Directions. *Fermentation*, 11(6), 300.
- Spizzirri, U. G., & Restuccia, D. (2024). Advances in Food Waste Biomass Transformation into High-Value Products. In (Vol. 13, pp. 1393): MDPI.

- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2019). Review of high-value food waste and food residues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 413-426.
- Teng, T. S., Chin, Y. L., Chai, K. F., & Chen, W. N. (2021). Fermentation for future food systems: Precision fermentation can complement the scope and applications of traditional fermentation. *EMBO reports*, 22(5), e52680.
- Torres-León, C., Chávez-González, M. L., Hernández-Almanza, A., Martínez-Medina, G. A., Ramírez-Guzmán, N., Londoño-Hernández, L., & Aguilar, C. N. (2021). Recent advances on the microbiological and enzymatic processing for conversion of food wastes to valuable bioproducts. *Current Opinion in Food Science*, 38, 40-45.
- Udugama, I. A., Petersen, L. A., Falco, F. C., Junicke, H., Mitic, A., Alsina, X. F., Mansouri, S. S., & Gernaey, K. V. (2020). Resource recovery from waste streams in a water-energy-food nexus perspective: Toward more sustainable food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 133-147.
- Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
- Venugopal, V., Sasidharan, A., & Rustad, T. (2023). Green chemistry to valorize seafood side streams: an ecofriendly roadmap toward sustainability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17494-17509.
- Wang, Z.-P., Li, S.-Y., Liu, X.-Y., & Xia, J. (2022). Value-added products from agro-industrial residues by biological approaches. In (Vol. 10, pp. 990004): *Frontiers Media SA*.
- Wibisono, D. A. S., Saw, C.-Y., Wu, T.-Y., & Chau, C.-F. (2025). Advancing industrial food byproduct management: strategies, technologies, and Progress in waste reduction. *Processes*, 13(1), 84.
- Xiong, X., Iris, K., Tsang, D. C., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Igalavithana, A. D., Kirkham, M., Kim, K.-H., & Vikrant, K. (2019). Value-added chemicals from food supply chain wastes: State-of-the-art review and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 375, 121983.

BÖLÜM 2

GIDALARDAKİ ANTIOKSİDAN ENZİMLERİN SAĞLIĞIMIZ İÇİN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ŞİMŞEK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17869999>

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kütahya/TÜRKİYE; zeynep.simsek@dpu.edu.tr, ORCID:0000-0002-7191-8228

GİRİŞ

Antioksidan enzimler, sağlığımız için tehlike arz eden serbest radikallere karşı vücudumuzu koruyan protein yapılı doğal gıda bileşenleridir. Serbest radikaller ve reaktif oksijen türleri (ROS), oksidatif stres oluşturmakta ve DNA, lipitler ve proteinler gibi biyomoleküllere zarar verebilmektedir. Gıdalarda bulunan süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz gibi enzimler, reaktif oksijen bileşiklerinin zararlı etkilerini nötralize ederek hücreleri hastalıklara karşı korur (Halliwell ve Gutteridge, 1996).

Antioksidan enzimler, serbest radikalleri nötralize ederek bağışıklık sisteminin düzgün çalışmasını sağlar. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi gıdalarla vücuda alınan enzimler, bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını düzenler. Metabolizmada oksidatif dengeyi sağlamak ve patojenlerle serbest radikallere karşı etkili bir savunma sistemi oluşturmak bu enzimlerin temel fonksiyonudur Valko ve ark., 2007).

Gıda antioksidanları oksidatif reaksiyonları engelleyerek gıda kalitesini ve insan sağlığını korumak için hayati öneme sahiptir. Ancak, sentetik antioksidanlar potansiyel toksisite nedeniyle düzenleyici kısıtlamalarla karşı karşıyadır ve bu da insan oksidatif stres düzenleme yollarını taklit eden doğal alternatiflere doğru bir yönelişe neden olur. Antioksidan bileşenler arasındaki sinerjik etkileşimleri yansıtan toplam antioksidan kapasitesi (TAC), gıda oksidatif stabilitesinin ve besin değerinin önemli bir göstergesidir (Huang ve ark., 2025). Bu kitap bölümünün amacı, gıdalarda doğal olarak bulunan antioksidan enzimlerin türlerini, işlevsel özelliklerini ve insan sağlığı üzerindeki koruyucu etkilerini bilimsel temelde ortaya koymaktır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Gıdalardaki Antioksidan Enzimler

Tüketicilerin sağlığını korumak ve iyileştirmek için beslenme kavramının dünya çapında bir trend haline gelmesiyle tıbbi bitkiler gıda teknolojisinde öncü bir rol oynamakta, antioksidan bileşimince zengin bu şifalı bitkiler, vücudu oksidatif strese karşı korumaktadır. Oksidatif stres, çeşitli nörolojik hastalıklara ve kötü huylu hastalıklara neden olabilmekte, ayrıca kardiyovasküler sistemin işleyişinde bozukluklara da yol açabilmektedir (Baker ve ark., 2020).

Antioksidan içeren gıdaların etkisi, içerdikleri ikincil metabolitlerin aktivitesiyle açıklanabilir. Bu metabolitler, serbest radikallerin oluşumunun önlenmesi, kötü huylu hücrelerin çoğalması ve vücuttaki tüm biyokimyasal süreçlerin gelişimi için gerekli olan enzimlerin düzgün çalışmasının sağlanması gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sonucu oluşur (Dias ve ark., 2021). Antioksidan enzim kaynağı olan meyve sebzeler aynı zamanda flavonoidlerce de zengindir.

Gıdalar bağışıklığımızı destekleyen antioksidan etkili fenolik maddeler, vitaminler ve mineraller ile enzimler gibi doğal bazı kimyasal maddeler içerir. Özellikle meyve sebzeler antioksidan bileşimi zengin gıdalardır ve içeriğinde antioksidan enzimler bulundurulur. Bu enzimlerden üçü; süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalazdır. Süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz gibi enzimlerin reaktif oksijen ve nitrojen bileşikleriyle etkileşimde bulunarak hücresel dengeyi koruduğu bilinmektedir. Bu enzimler, oksidatif hasarı sınırlayarak bitkilerin çevresel streslere, hastalıklara ve zararlılara karşı daha dayanıklı hale gelmesine yardımcı olmaktadır (Kapoor ve ark., 2019).

1.1.1. Süperoksit Dismutaz

Bakır ve çinko içeren süperoksit dismutaz, mitokondriyal ve sitozolik süperoksit üretiminden kaynaklanan oksidatif stresin bazal seviyelerini düzenlemekten sorumlu bir hücre içi antioksidan enzimdir (Trist ve ark., 2020).

Reaktif oksijen bileşikleri, normal hücresel metabolizmanın son derece reaktif oksijen içeren ürünleridir ve hücresel makromoleküllerde hasara yol açarak oksidatif strese neden olur. Reaktif oksijen bileşiklerinin biyolojik sistemlerdeki önemi daha sonra, canlı sistemlerin yalnızca bu bileşiklerden korunmak için adapte olmakla kalmayıp, aynı zamanda kimyasalların çeşitli fizyolojik işlevlerde avantajlı kullanımı için mekanizmalar geliştirdiğini gösteren bir dizi keşifler söz konusu olmuştur (Valko ve ark., 2007).

Biyolojik sistemler, aşırı üretilen reaktif oksijen bileşiklerini temizlemek ve oksidatif homeostazı korumak için antioksidan ağlarla donatılmıştır (Bafna ve ark., 2011).

Toksik özellik gösteren iki bileşen süperoksit radikali ve hidrojen peroksit, süperoksit dismutaz ile zararsız ürün suyuna dönüştürülür ve bu mekanizma ile oksidatif strese karşı hücreler korunur (Kumar ve ark., 2012).

Bitkiler dışındaki organizmaların aksine, bitkilerin birden fazla gen tarafından kodlanan birden fazla bakır ve çinko içeren süperoksit dismutaz formuna sahip olduğu bildirilmiştir (Fink ve Scandalios, 2002).

1.1.2. Glutasyon Peroksidaz

Glutasyon Peroksidaz, hayvanların, bitkilerin ve mikroorganizmaların mitokondrilerinde veya sitoplazmasında yaygın olarak bulunur. Geniş substrat tanıma ve peroksitler için etkili katalitik aktiviteye sahiptir. Bu enzim, glutasyonun glutasyon disülfüre oksidasyonunu katalize ederken hidrojen peroksiti (H_2O_2) suya dönüştürür, hücreleri H_2O_2 birikiminden kaynaklanan peroksidasyondan korur. Bu mekanizmayla hücre zarının yapısal ve işlevsel bütünlüğü korunmuş ve normal enerji metabolizması ile biyolojik süreçler düzenlenmiş olur (Farooq ve ark., 2019).

Glutasyon, glutasyon disülfür ve diğer bileşenler, organizmaların büyümesi ve gelişimi için kritik olduğu kanıtlanmış olan glutasyon döngüsünü oluşturur. Örneğin, H_2O_2 , hem mitokondri içinde hem de dışında glutasyon döngüsü aracılığıyla mitokondriyal ve enerji metabolizmasıyla ilgili redoks sinyallemesini aracılık etmede dolaylı bir rol oynamaktadır (Mailloux ve Treberg, 2016).

Temel bir peroksidaz olarak glutasyon peroksidaz, organizmalardaki reaktif oksijen bileşikleri seviyelerini doğrudan etkiler ve düzenler. glutasyon peroksidazın organizmaların olumsuz şartların üstesinden gelmelerine ve büyümelerini ve gelişmelerini kontrol etmelerine yardımcı olmada önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Gill ve Tuteja, 2010; Santesmasses ve ark., 2020). Homeostaz bozulduğunda, reaktif oksijen bileşikleri organizmalarda ciddi oksidatif hasara neden olabilir, hatta hücre ölümüne neden olabilmektedir (Halliwell, 2006). Dengeli ve yeterli beslenme, diyetle antioksidan enzim ilavesinin sağlanması bu noktada önem arz etmektedir.

1.1.3. Katalaz

Antioksidan bir enzim olan katalaz, saniyede on milyonlarca H_2O_2 molekülünü metabolize etme yeteneğine sahiptir (Heck ve ark., 2010).

Bitki savunma mekanizmaları bağlamında, bitkilerde bulunan bir enzim olan katalaz önemli bir rol oynar. Katalaz, H_2O_2 molekülünün suya ve oksijene parçalanmasını kolaylaştıran bir antioksidan enzimdir. Hidrojen peroksit,

bitkilerde çeşitli metabolik süreçlerin bir yan ürünü olarak üretilir ve seviyeleri düzenlenmezse toksik olabilir. Katalaz, H_2O_2 'yi etkili bir şekilde parçalayarak, birikmesini önleyerek ve bitki hücrelerindeki oksidatif stresi en aza indirerek bir savunma mekanizması görevi görür. Ek olarak, katalaz diğer reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonunda rol oynar ve bitkilerin genel antioksidan savunma sistemine katkıda bulunabilir. Reaktif oksijen bileşiklerini temizleyerek ve nötralize ederek, katalaz hücresel homeostazisi korumaya ve bitkileri hem biyotik hem de abiyotik stresler tarafından indüklenebilen oksidatif hasardan korumaya yardımcı olur (Mhamdi ve ark., 2010; Gondim ve ark., 2012; Waszczak ve ark., 2016).

H_2O_2 aktif bölgeye bağlandığında, hem grubundaki demir atomu bir dizi oksidasyon-redüksiyon reaksiyonuna girer ve bu da H_2O_2 'nin su ve O_2 'ye ayrışmasına yol açar (Chelikani ve ark., 2004).

Katalaz, bitki stres tepkilerinde ve savunma mekanizmalarında önemli bir rol oynar. Bu nedenle, genetik mühendisliği ve biyoteknolojik yaklaşımlar yoluyla bitkilerde katalaz aktivitesini artırmaya yönelik önemli bir çalışma alanı söz konusudur ve bu bileşenlerin diyetle dahil edilmesi önem arz etmektedir (Mhamdi ve ark., 2010).

1.2. Antioksidan Enzimlerin Etki Mekanizması

Antioksidan enzimlerin mikroorganizmalar üzerindeki etki mekanizmaları oksidatif stresle açıklanabilir. Oksidatif stres, H_2O_2 , süperoksit ve hidroksil radikalleri gibi reaktif oksijen türleri tarafından uygulanan biyolojik bir streştir ve hücre apoptozunu indükler ve mikrobiyal hücrelerdeki önemli makromolekülleri bozarak, nükleik asitleri mutasyona uğratarak ve proteinlerin normal işlevini değiştirerek anaerobik fermantasyon mikroorganizmalarının fonksiyonlarını yerine getirmesini engeller (Jiao ve Chen, 2022; Kang ve ark., 2013). Anaerobik koşullar altında, dış stres hücre içi oksidatif stres yanıtını aktive edecek, hücre içi reaktif oksijen türlerinin içeriğini artıracak, enzimleri daha da yok edecek ve elektron taşıma aktivitesini azaltacaktır (Wang ve ark., 2023). Peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi hücre içi antioksidan enzimler oksidatif strese karşı koymada önemli bir rol oynar. Genel olarak, süperoksit anyon radikali süperoksit dismutaz (SOD) tarafından H_2O_2 'ye indirgenir ve H_2O_2 de peroksidaz tarafından daha da küçük parçalara ayrıştırılabilir (Fan ve ark., 2023). Glutasyon peroksidaz, antioksidan etkiye,

entegre detoksifikasyona ve H_2O_2 kimyasalını temizleme etkisine sahiptir (Zhang ve ark., 2020). Bununla beraber, mikroorganizmalar reaktif oksijen türlerini arındırmak ve hasarlı hücresel bileşenleri onarmak için hücresel savunma mekanizmalarını da kullanır. Liu ve ark., oksidatif stres altında, mikrobiyal konsorsiyumun polisakkaritlerin sentezini ve salgılanmasını uyardığını ve mikroorganizmaların antioksidan aktivitesini artırmak için daha fazla hücre dışı polimer ürettiğini tespit etmiştir (Liu ve ark., 2023).

1.3. Antioksidan Enzimler ve Sağlık

Lee ve Park tarafından yapılan bir çalışmada özellikle resveratrol, kurkumin ve berberin gibi fitokimyasalların, süperoksit dismutaz ve glutatyon peroksidaz gibi enzimleri aktive ederek damar sağlığını iyileştirebileceği saptanmıştır (Lee ve Park, 2021).

Obeme-Nmom ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada gıda kaynaklı biyoaktif bileşiklerin enzimlerin ekspresyonunu artırarak, oksidatif stresi azaltarak ve sağlık üzerinde potansiyel iyileşme sağlayarak redoks enzimlerinin aktivitesini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada çeşitli gıda proteinlerinden elde edilen biyoaktif peptitlerin, katalaz enzimini doğrudan aktive ederek antioksidan kapasitesini artırabildiği saptanmıştır (Obeme ve ark., 2024).

Antioksidan enzim kaynaklarını tüketmenin malondialdehit seviyelerini, açlık kan şekeri seviyelerini ve hemogloblin A1c konsantrasyonunu azaltarak sağlığa faydalı etkiler sunduğu saptanmıştır (Ejtahed, 2012).

2. SONUÇ

Sonuç olarak yeterli ve dengeli beslenmenin vazgeçilmez unsuru olan antioksidan gıda bileşenlerinin diyetle dahil edilmesi, hastalıkların önlenmesinde önemli bir husustur. Katalaz, glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimler özellikle meyve sebzelerde ve hayvansal dokularda bulunmakta vücudumuzu oksidatif strese karşı koruyarak bağışıklık sistemini desteklemektedir. Bu gıda bileşenlerince zengin kaynakların fonksiyonel gıda üretiminde kullanımı yaygınlaştırılmalı ve artan tüketici bilincinin de etkisiyle daha sağlıklı gıda ürünleri pazara sunulmalıdır.

KAYNAKÇA

- Bafana, A., Dutt, S., Kumar, A., Kumar, S., Alhuja, P.A. (2011). The basic and applied aspects of superoxide dismutase. *J. Mol. Catal.* 68, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2010.11.007>.
- Baker, P., Machado, P., Santos, T., Sievert, K., Backholer, K., Hadjikakou, M., Russell, C., Huse, O., Bell, C., & Scrinis, G. (2020). Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. *Obesity Reviews*, 21, 13126. <https://doi.org/10.1111/obr.13126>.
- Chelikani, P., Fita, I., Loewen, P.C. (2004). Diversity of structures and properties among catalases, *Cell Mol. Life Sci.* 61, 192–208. <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3206-5>.
- Dias, M. C., Pinto, D. C., & Silva, A. M. (2021). Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26, 5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>.
- Ejtahed, H., S., Mohtadi-Nia, J., Homayouni-Rad, A., Mitra Niafar M.D., Ph.D. b, Mohammad Asghari-Jafarabadi, M., Mofid V. (2012). Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrition* 28, 539-543, <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.013>.
- Fan, Y., Yin, M., Chen, H., (2023). Insights into the role of chitosan in hydrogen production by dark fermentation of waste activated sludge. *Sci. Total Environ.* 859, 160401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160401>.
- Farooq, M.A., Niazi, A.K., Akhtar, J., Saifullah, Farooq, M., Souri, Z., Karimi, N., Rengel, Z. (2019). Acquiring control: the evolution of ROS-induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses, *Plant Physiol. Biochem.* 141, 353–369. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039>.
- Fink, R.C., Scandalios, J.G. (2002). Molecular Evolution and Structure–Function Relationships of the Superoxide Dismutase Gene Families in Angiosperms and Their Relationship to Other Eukaryotic and Prokaryotic Superoxide Dismutases. *Arch. Biochem. Biophys.* 399, 19–36. <https://doi.org/10.1006/abbi.2001.2739>.

- Gill, S.S. and Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants, *Plant Physiol. Biochem.* 48 (12). 909–930, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.
- Gondim, F.A., Gomes-Filho, E., Costa, J.H., Alencar, N.L.M., Prisco, J.T. (2012). Catalase plays a key role in salt stress acclimation induced by hydrogen peroxide pretreatment in maize, *Plant Physiol. Biochem.* 56, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.012>.
- Halliwel B, Gutteridge J.M.C. (1996). Antioxidants in Human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 16, 33-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.16.070196.000341>.
- Halliwel, B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life, *Plant Physiol.* 141 (2), 312–322. <https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>.
- Heck, D.E., Shakarjian, M., Kim, H.D., Laskin, J.D., Vetrano, A.M. (2010). Mechanisms of oxidant generation by catalase. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1203, 120–125. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05603.x>.
- Jiao, Y., Chen, H., (2022). Polydimethyldiallylammonium chloride induces oxidative stress in anaerobic digestion of waste activated sludge. *Bioresour. Technol.* 356, 127331. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127331>.
- Huang, L., Zhao, X., Wang, J., He, O., Shi, B. (2025). Enzyme-inspired nanosensing of food antioxidants: From targeted quantification to system-level analysis. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 160. 105004. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105004>.
- Kang, A., Tan, M.H., Ling, H., Chang, M.W., (2013). Systems-level characterization and engineering of oxidative stress tolerance in *Escherichia coli* under anaerobic conditions. *Mol. Biosyst.* 9 (2), 285–295. <https://doi.org/10.1039/c2mb25259g>.
- Kumar, A., Dutt, S., Bagler, G., Ahuja, P.S., Kumar, S. (2012). Engineering a thermo-stable superoxide dismutase functional at sub-zero to 50°C, which also tolerates autoclaving. *Sci. Rep.* 2, 387–395. <https://doi.org/10.1038/srep00387>.

- Lee, S. E., & Park, Y. S. (2021). The Emerging Roles of Antioxidant Enzymes by Dietary Phytochemicals in Vascular Diseases. *Life*, 11(3), 199. <https://doi.org/10.3390/life11030199>.
- Liu, L., Pan, Y., Zhi, X., Chen, L., Zhu, H., (2023). Bacterial antioxidant mechanism in calcium peroxide aided sludge anaerobic fermentation. *Bioresour. Technol.* 384, 129327. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129327>.
- Mailloux, R.J., Treberg, J.R. (2016). Protein S-glutathionylation links energy metabolism to redox signaling in mitochondria, *Redox Biol.* 8, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.12.010>.
- Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S. Vanderauwera, S., Van Breusegem, F., Noctor, G. (2010). Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress- mimic models, *J. Exp. Bot.* 61, 4197–4220. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq282>.
- Obeme-Nmom, J.I., Abioye, R. O., Reyes Flores S., S. and Chibuike C. Udenigwe, C.C. (2024). Regulation of redox enzymes by nutraceuticals: a review of the roles of antioxidant polyphenols and peptides. *Food & Function*. 10956-10980. <https://doi.org/10.1039/D4FO03549F>.
- Santesmasses, D., Mariotti, M., Gladyshev, V.N. (2020). Bioinformatics of selenoproteins, *Antioxid. Redox Signal.* 33 (7) 525–536. <https://doi.org/10.1089/ars.2020.8044>.
- Trist, B. G., Hilton, J. B., Hare D. J., Crouch, P. J., Double, K.,L. (2020). Superoxide Dismutase 1 in Health and Disease: How a Frontline Antioxidant Becomes Neurotoxic. *A Journal of German Chem. S.* 60 (17). 9215-9246. <https://doi.org/10.1002/anie.202000451>.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>.
- Wang, J., Cheng, G., Zhang, J., Lu, M., Shangguan, Y., Liu, X., (2023). Mechanism of dielectric barrier discharge plasma coupled with calcium peroxide to improve the quantity and quality of short chain fatty acids in anaerobic fermentation of cyanobacteria. *Chem. Eng. J.* 455, 140618. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140618>.

- Waszczak, C., Kerchev, P.I. Mühlenbock, P. Hoeberichts, F.A. Van Der Kelen, K. Mhamdi, A. Willems, P. Denecker, . J., Kumpf, R.P., Noctor, G. (2016). Short-Root deficiency alleviates the cell death phenotype of the *Arabidopsis* catalase 2 mutant under photorespiration-promoting conditions, *Plant Cell* 28, 1844–1859. <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00038>.
- Zhang, Y., Shi, H.T., Gu, J.D., Jiao, Y.Q., Han, S.Y., Akindolie, M.S., Wang, Y.F., Zhang, L., Tao, Y., (2020). Anthraquinone-2,6-disulfonate enhanced biodegradation of dibutyl phthalate: reducing membrane damage and oxidative stress in bacterial degradation. *Bioresour. Technol.* 302, 122845. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122845>.

BÖLÜM 3

PROFESYONEL MUTFAKLARDA ÜRETİLEN BİTKİ BAZLI FERMENTE SOSLARIN İNSAN SAĞLIĞI İÇİN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ŞİMŞEK¹
Naim ISGANDAROV²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17870332>

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kütahya/TÜRKİYE; zeynep.simsek@dpu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7191-8228>

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalı, Kütahya/TÜRKİYE; naim.isgandarov@ogr.dpu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4759-8633>

GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte insanların beslenme alışkanlıkları değişim göstermekte, profesyonel mutfaklarda sağlıklı gıdaların üretimine özen gösterilmektedir. Beslenme bilimi, insan vücudunun büyüme, gelişme, enerji üretimi ve sağlık için gerekli olan besin maddelerinin metabolize edilme süreçlerini inceler. Beslenme alışkanlıkları başlangıçta deneme yanılma yoluyla ortaya çıkmış olsa da zamanla beslenme şekli gelişme göstermiştir. Bu süreçler profesyonel mutfaklar için büyük önem arz etmektedir. Profesyonel mutfak kavramı, tarih boyunca farklı uygarlıkların gelişmesiyle beraber evrimsel bir süreç geçirmiştir. Eski çağlardan günümüze toplumların değişen ihtiyaçları ve kültürel etkileşimler, profesyonel mutfakların gelişimini etkilemiş ve şekillenmesini sağlamıştır (Erdem ve Arman, 2024). Dünyanın farklı coğrafyalarında bitkisel veya hayvansal ürünlerden çeşitli fermente gıdalar üretilmektedir. Eski çağlardan beri değişik kültürlerden olan insanların beslenme alışkanlıklarına bakıldığında, yağlı tohumların ve hububatların tuz ve su ilave edilerek olgunlaştırıldığı ve süreç sonrasında ürünlerin tat, lezzet, aroma ve tekstür gibi duyuşal özelliklerinin değiştiği bilinmektedir (Çelik, 1988).

Fermente gıdalar, insan vücudunda sindirim sistemi için potansiyel olarak zararlı bileşenler içeren veya sindirimi zor olan gıdaların mikroorganizmalar yardımıyla daha sağlıklı ve emilebilir formlara dönüştürüldüğü gıdalardır. Fermantasyon süreci, fermente edilecek gıdalarda doğal olarak bulunan zararlı mikroorganizmaları ve toksik bileşenleri minimize etmeye yardımcı olmakla beraber aynı zamanda insan sağlığına faydalı olan mikrobiyal değerleri artırmaktadır (Hasan ve ark., 2014). Fermantasyon işleminde laktik asit bakterileri yaygın kullanılmakta, bitki bazlı ürünler bu starterler tarafından kolaylıkla fermente edilebilmektedir (Yang ve ark., 2024). Fermantasyon teknolojisinin ilerlemesiyle profesyonel mutfaklarda soslar lezzet faktörü açısından öne çıkmaktadır. Bitki bazlı soslar endüstriyel gelişmeler sonucunda gıda sektöründe sürekli güncellenen bir ürün haline gelmektedir (Kırmızıkuşak, 2021). Bu kitap bölümünde, geleneksel muhafaza tekniklerinden fermantasyon kullanılarak profesyonel mutfaklarda üretilen bitki bazlı fermente sosların özelliklerinin incelenmesi ve hazırlanan bu ürünlerin insan sağlığı için öneminin vurgulanması amaçlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Fermantasyonun Bilimsel Temelleri

1.1.1. Fermantasyon Kavramı ve Metabolik Mekanizmalar

Fermantasyon, oksijen bulunmayan ortamlarda varlıklarını sürdüren mikroorganizmalar tarafından yürütülen metabolik bir faaliyettir (Hackmann, 2024). Fermantasyon, substratların ayrışması, mikroorganizmaların gelişmesi, üremesi, yaşlanması ve ölmesi gibi süreçleri kapsamaktadır. Bu süreç çeşitli metabolitlerin sentezi ve dönüşümü eşliğinde gerçekleşmektedir (Feng ve ark., 2018). Fermantasyon, oksijenin hiç bulunmadığı ya da çok düşük seviyelerde olduğu ortamlarda gerçekleşebilmekte; mikroorganizmaların enzim faaliyetleri sonucunda enerji üretimi, çeşitli sekonder metabolitlerin oluşumu ve gıda bileşenlerinde yapısal değişimler gibi sonuçlar doğurmaktadır.

Geleneksel bitki bazlı fermantasyon uygulamalarında basit şekerler, nişastalar ya da bitki hücre duvarı bileşenleri mikroorganizmalarca parçalanarak organik asitler, alkoller, gazlar ya da diğer yan ürünlere dönüşmektedir. Bitki bazlı bileşenlerin fermantasyonu esnasında mikroorganizmalar ortamın asitliğini artırarak besin öğelerinin vücut tarafından daha kolay kullanılmasını sağlayabilmektedir (Peng ve ark., 2025; Dhiman, 2025). Fermantasyon ile şeker molekülleri glikoliz aracılığıyla pirüvata parçalanmaktadır. Ardından pirüvat ya laktik asit, etanol ya da diğer farklı organik asitlere dönüştürülerek $NAD^+/NADH$ dengesi korunmaktadır. Bu dönüşüm, mikroorganizmaların oksijen bulunmayan ortamlarda enerji üretmesini mümkün kılmaktadır (Yang ve ark., 2024; Peng ve ark., 2025). Bitki bazlı fermente ürünlerde bu süreçleri gerçekleştiren mikroorganizmalar ve fermantasyonun yürütüldüğü koşullar, ürünün duyuşal karakterini büyük ölçüde etkilemektedir (Peng ve ark., 2025; Dhiman ve ark., 2025).

Günümüzde fermantasyon teknolojileri, mühendislik, genetik düzenlemeler ve özel olarak tasarlanmış starter kültürlerin kullanımı gibi yenilikçi yaklaşımları kapsamaktadır. Bu modern yaklaşımlar sayesinde sadece geleneksel üretim teknikleriyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda fonksiyonel özellikleri artırılmış ve besin değeri optimize edilmiş yeni nesil gıdalar üretilmektedir (Dhiman ve ark., 2025).

Fermantasyon sürecinde rol oynayan başlıca metabolik yollar glikoliz, pentoz fosfat yolu ve entner-doudoroff yoludur. Glikoliz, glukozun pirüvata kadar parçalanmasını sağlarken, pentoz fosfat yolu ve entner-doudoroff yolu

alternatif güzergahlar olarak işlev görmektedir (Sawant ve ark., 2025). Alkol fermantasyonu ise pirüvatların önce asetaldehite ve ardından etanole dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Bu süreç, özellikle *Saccharomyces cerevisiae* tarafından gerçekleştirilir ve bu maya ekmek mayası olarak bilinir (Saritaş ve ark., 2024). Asetik asit fermantasyonu, etanolün asetik aside dönüştüğü biyokimyasal bir süreçtir. İşlem, *Acetobacter* ve *Gluconobacter* gibi asetik asit bakterileri tarafından gerçekleştirilir ve bu bakteriler sirke üretiminde yaygın olarak kullanılır (Gangakhedkar ve ark., 2025). Alkalın fermantasyon, proteinlerin amino asitlere ve kısa peptitlere parçalanmasıdır. Bu tür fermantasyon, *Bacillus* cinsi mikroorganizmalar tarafından yürütülür ve çoğunlukla Asya kökenli geleneksel fermente gıdalarda önem arz etmektedir (Sawant ve ark., 2025). Mikroalgal fermantasyon ise, mikroalglerin yapısında bulunan karbonhidratlar ve proteinlerin biyolojik olarak aktif bileşiklere dönüştürülmesidir. İşlem, fonksiyonel peptitlerin sentezi ve besin değeri yüksek içeriklerin üretimi gibi çeşitli uygulamalarda değerlendirilmektedir. Mikroalgal fermantasyon, özellikle sürdürülebilir gıda üretimi açısından gelecek vadede biyoteknolojik bir yaklaşımdır (Bürck ve ark., 2024).

1.1.2. Fermente Gıdaların Mikrobiyal Kompozisyonu

Fermente gıdalardaki mikrobiyal kompozisyon, üretimde starter kültür olarak kullanılan mikroorganizmaların çeşitliliği ve birbirleriyle olan etkileşimleriyle şekillenmektedir. Bu mikroorganizmalar genellikle bakteriler, mayalar ve küflerden oluşur ve her biri fermantasyon sürecinde özgün roller üstlenir. Mikrobiyal kompozisyon; kullanılan hammadde, üretim yöntemleri, çevresel koşullar, coğrafi konum ve kültürel uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Hidalgo-Fuentes ve ark., 2024). Fermente gıdalarda en yaygın olarak kullanılan mikroorganizmalar laktik asit bakterileridir. *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* ve *Streptococcus* cinsi bakteriler bu grupta yer almaktadır. Laktik asit bakterileri, karbonhidratları laktik aside dönüştürerek ortamın pH değerini düşürmekte ve bu sayede zararlı mikroorganizmaların gelişimini baskılamaktadır (Tamang ve ark., 2016). Mayalar da fermantasyon sürecinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle etanol ve karbon dioksit üretimi yoluyla ürünün kabarmasını ve aromatik profilini etkilemektedir (Liu ve ark., 2024). Küfler, özellikle soya temelli fermente gıdalarda (örneğin tempeh) ve peynir çeşitlerinde önemli rol oynayan

mikroorganizmalardır. *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Rhizopus* cinsi küfler, en yaygın olarak kullanılan küflerdir. Bu mikroorganizmalar, proteolitik ve lipolitik enzimler salgılayarak protein ve yağların parçalanmasını sağlamaktadır. Bu durum ürünün tekstür, tat ve aroma gelişimine önemli katkı sunmaktadır (Park ve Mannaa, 2025). Fermantasyonun merkezinde yer alarak gıdanın kimyasal yapısını değiştiren bu mikroorganizmalar, aynı zamanda ürünün tat, aroma ve besin değerini de iyileştirmektedir (Dong ve ark., 2024).

Günümüzde fermente gıdaların mikrobiyal kompozisyonunu analiz etmek için yalnızca klasik kültür yöntemleri değil, aynı zamanda moleküler biyoloji tabanlı ileri teknikler de kullanılmaktadır. Metagenomik yaklaşımlar, yüksek verimli dizileme teknolojileri ve diğer genomik analizler, bu ürünlerdeki tüm mikrobiyal kolonilerin detaylı ve kapsamlı bir şekilde tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede fermente ürünlerin mikrobiyal dinamikleri anlaşılmakta, üretim süreçleri daha kontrollü sağlanmaktadır (Sun ve ark., 2022). Mikrobiyal kompozisyon, yalnızca fermantasyonun stabilitesi ve mikrobiyolojik güvenliği açısından değil, aynı zamanda probiyotik kaynağı olarak tüketici sağlığı üzerindeki etkileri bakımından da kritik bir önem arz etmektedir (Brigante ve ark., 2024).

1.2. Bitki Bazlı Fermente Soslar

1.2.1. Bitki Bazlı Fermente Sos Kaynakları

Bitki bazlı fermente soslar, artan sağlık bilinci ve sürdürülebilir üretim arayışının etkisiyle, geleneksel soslara alternatif olarak geliştirilmekte ve çeşitli bitkisel hammaddelerin fermantasyonu yoluyla elde edilmektedir (Boukid ve ark., 2023). Bu sosların üretiminde uygun bitkisel materyallerin seçimi, fermantasyon sürecinin başarısı ve son ürünün besin değeri açısından belirleyici bir etkidir (Adebo ve ark., 2022).

Fermente ürünlerin kalitesi, kullanılan hammaddenin türü, fermantasyon parametreleri ve mikroorganizma seçimi gibi faktörlere bağlı olarak optimize edilebilmektedir (Masiá ve ark., 2021). Tahıllar ve baklagiller, bitki bazlı sosların üretiminde sık tercih edilen hammaddelerdendir. Tahıl bazlı fermantasyon, özellikle protein biyoyararlanımını artırarak beslenme açısından değerli bir katkı sağlarken; baklagillerin fermantasyonu, fitat, tanen ve diğer antinutrient bileşiklerin seviyesini düşürerek ürünün besinsel kalitesini yükseltmektedir (Adebo ve ark., 2022; Arshad ve ark., 2023). Baklagil

proteinlerinin fermentasyon sürecinden geçmesi, bu proteinlerin parçalanmasını sağlamakta, bu durum fonksiyonel özelliklerin gelişimine katkı sunmaktadır. Fermentasyon tamamlandığında ürünün kıvam, doku ve stabilitesi iyileşmektedir. Ayrıca, laktik asit fermentasyonu, baklagil proteinlerinin emülsiyon oluşturma ve jel yapma yeteneğini artırarak ürün kalitesini desteklemektedir (Emkani ve ark., 2022). Diğer yandan, sebze ve meyve kaynaklı hammaddeler, fermente sosların aroma ve tat profiline doğrudan etki etmektedir. Fermentasyon sırasında ortaya çıkan uçucu aromatik bileşenler, ürünün duyuusal özelliklerini iyileştirmekte ve tüketici beğenisini olumlu yönde etkilemektedir (Rajendran ve ark., 2023).

Fermente soslarda probiyotik mikroorganizmaların kullanımı, ürünlerin sağlık yönünden ek faydalar sunmasını mümkün kılmaktadır (Dahiya ve Nigam, 2023). Ayrıca antimikrobiyal bileşikler üreten bazı mikroorganizmalar sayesinde, fermente soslar patojen mikroorganizmalara karşı daha dirençli hale gelmektedir (Elhalis ve ark., 2023).

1.2.2. Bitki Bazlı Fermente Sos Örnekleri

Bitki bazlı fermente soslar arasında Japonya'ya özgü geleneksel miso ve kōji temelli fermente sos sistemleri yer almaktadır. Miso üretiminde, soya fasulyesi kōji küfü kullanılarak fermente edilmektedir (Kusumoto ve ark., 2021). Bir diğer örnek, fermente Brassica türü ürünlerin sos formuna dönüştürülmesidir. Örneğin, Kimchi ve Sauerkraut gibi fermente lahana bazlı ürünlerin sos olarak kullanıldığı ve sağlık üzerinde olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Brassica bazlı ürünler, sos formuna uyarlanarak ürünlerin faydalı sağlık etkileri geliştirilmektedir (Fijan ve ark., 2024).

1.2.3. Bitki Bazlı Fermente Sosların Biyokimyasal Özellikleri

Bitki bazlı fermente sosların biyokimyasal özellikleri, zengin besin içeriklerine ve geniş biyolojik çeşitlilik sunan hammaddelere dayanmaktadır. Bu hammaddeler; proteinler, polisakkaritler, fenolik bileşikler, vitaminler ve diyet lifi gibi çeşitli biyoaktif bileşenleri bünyelerinde barındırmaktadır. Mikrobiyal enzimlerin, özellikle laktik asit bakterilerinin salgıladığı proteaz, lipaz ve β -glukosidazlar gibi enzimler, karmaşık bitkisel makromolekülleri daha küçük, biyolojik açıdan aktif bileşenlere dönüştürmektedir (Liu ve ark., 2023). Soya, mercimek, nohut ve tahıl bazlı hammaddelerde bulunan proteinler, fermentasyon esnasında proteolitik enzimlerin etkisiyle parçalanarak serbest

amino asitler, kısa zincirli peptitler ve aromatik bileşiklere dönüşmektedir. Bu biyokimyasal dönüşümler, ürünlerin duyusal ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirmektedir (Wang ve ark., 2023). Polisakkaritlerin yapısal özellikleri fermentasyon boyunca değişime uğramakta, özellikle β -glukanlar ve pektin gibi besinsel lif bileşenleri mikrobiyal enzimler tarafından hidrolize edilerek çözünür lif oranında artış meydana gelmektedir (Zhang ve ark., 2022). Fermentasyon süreci, fitik asit, tanen ve oksalat gibi bileşiklerin enzimatik yıkımını teşvik ederek minerallerin biyoyararlanımını artırmaktadır (Adebo ve ark., 2022). Fermentasyon sürecinde yalnızca kimyasal değişimler değil, aynı zamanda biyokimyasal adaptasyon mekanizmaları da belirleyicidir. *Lactobacillus* ve *Bacillus* cinsi bakteriler ve *Rhizopus* cinsi mayalar, bitkisel substratların özelliklerine bağlı olarak farklı metabolik tepkiler göstermektedir. Bu durum, fermentasyon sonrası ürünlerde ortaya çıkan aroma profilleri ve biyoaktif bileşik çeşitliliğinin şekillenmesinde etkili olmaktadır (Chen ve ark., 2023).

1.2.4. Bitki Bazlı Fermente Sosların Bileşimindeki Probiyotikler

Bitki bazlı fermente ürünlerde bulunan probiyotik mikroorganizmalar, yalnızca ürünlerin mikrobiyal güvenliğini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde çok boyutlu faydalar sunmaktadır. Özellikle *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* ve *Bacillus* cinsi bakteriler ile bazı *Saccharomyces* cinsi mayalar, fermentasyon süreci boyunca biyokimyasal ve fonksiyonel açıdan kritik roller üstlenmektedir (Singh ve ark., 2023). Bu mikroorganizmalar, karbonhidratları fermente ederek kısa zincirli yağ asitleri, organik asitler ve biyoaktif peptitlerin oluşumunu desteklemektedir. Fermentasyon esnasında probiyotiklerin en önemli fonksiyonlarından birisi, biyoaktif bileşiklerin serbestleşmesi ve metabolik olarak dönüştürülmesini sağlamalarıdır (Chen ve ark., 2023). Probiyotikler bağırsak mikrobiyota dengesini düzenlenmektedir. Düzenli olarak bitki bazlı fermente ürünlerin tüketilmesi, bağırsaktaki yararlı bakteri popülasyonunun artmasını sağlamaktadır (Park ve ark., 2022).

1.2.5. Bitki Bazlı Sosların Antioksidan Özellikleri

Fermente soslar, bitki kaynaklı hammaddelerin mikroorganizmalar tarafından dönüştürülmesiyle oluşan kompleks ve fonksiyonel gıdalar olarak

bilinmektedir. Bu dönüşüm sürecinde özellikle antioksidan kapasitesi ve biyofonksiyonel özelliklerde kayda değer artışlar meydana gelmektedir. Fermantasyon işlemi, fenolik bileşiklerin serbest hale geçmesini ve yeni biyolojik olarak aktif bileşiklerin sentezlenmesini teşvik ederek fermente sosların sağlık açısından sağladığı faydaları artırmaktadır (Lee ve ark., 2021). Bitki bazlı soslarda bulunan polifenoller, fermantasyon sürecinde mikrobiyal enzimlerin etkisiyle yapısal değişikliklere uğramakta ve antioksidan kapasitesi yükselmektedir (Zhao ve ark., 2021).

1.3. Profesyonel Mutfaklar ve Bitki Bazlı Fermente Soslar

1.3.1. Gastronomide Bitki Bazlı Fermente Sosların Yeri

Fermente soslar, profesyonel mutfaklarda hem lezzet albenisi kazandırmak hem de sağlık fonksiyonlarını artırmak amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel fermente sosların yanı sıra, modern mutfak teknolojilerinde üretim süreçleri optimize edilerek kalite kontrol sistemleri geliştirilmekte ve böylece standardizasyon sağlanmaktadır. (Mataragas ve Bosnea, 2022) Bu teknolojik ilerlemeler, fermente sosların aroma profillerini ve fonksiyonel bileşenlerini koruyarak gastronomik açıdan yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Profesyonel mutfaklarda fermente soslar yalnızca tatlandırma unsuru değil, aynı zamanda dokusal ve aromatik yapı oluşturmak için stratejik bir araç olarak kullanılmaktadır. Örneğin, laktik asit fermantasyonu ile hazırlanan sebze bazlı soslar, umami ve asidik tat profilleri sayesinde yemeklerin duyu kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır (Joshi ve Somesh, 2010). Ayrıca, fermantasyon sırasında meydana gelen organik asitler ve biyoaktif peptitler, bu sosların sağlık açısından değerini de yükseltmektedir.

Mutfak teknolojilerinde mikroorganizmaların kontrolü, fermantasyon koşullarının optimize edilmesi ve ürün stabilitesi üzerine yapılan araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Bu sayede fermente soslar, profesyonel mutfaklarda hem güvenilirlik hem de tutarlılık sağlayarak geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Mataragas ve Bosnea, 2022).

1.3.2. Menü Tasarımı ve Sağlıklı Beslenme Perspektifi

Fermente soslar, modern menü tasarımında sağlık ve lezzet dengesini sağlamak açısından önemli bir konuma sahiptir. Bitki bazlı fermente ürünlerin içerdiği probiyotik mikroorganizmalar ve biyoaktif bileşikler, sağlıklı beslenme

eğilimleriyle uyumlu olarak menülerde yer almaktadır. Menü planlamada fermente sosların yer alması, tüketicilerin probiyotik alımını artırmanın ötesinde, antioksidan ve antiinflamatuvar etkileri sayesinde metabolik sağlık üzerinde olumlu katkılar sunmaktadır (Palamutoğlu ve ark., 2022). Özellikle kronik hastalıkların önlenmesinde beslenmenin rolü dikkate alındığında, fermente soslar fonksiyonel gıdalar arasında stratejik bir konum arz etmektedir. Fermente sosların menüde bulunması, tüketicilerin bilinçli ve sağlıklı seçimler yapmasını teşvik etmekte, içerdiği mikrobiyal ve biyoaktif bileşikler sayesinde sağlığı destekleyerek genel iyilik halini artırmaktadır (Joshi ve Somesh, 2010).

1.4. Bitki Bazlı Fermente Soslar ve İnsan Sağlığı

1.4.1. Bitki Bazlı Fermente Sosların Bağırsak Mikrobiyotasına Etkisi

Fermente bitki bazlı ürünler, insan bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve işlevselliği üzerinde düzenleyici etki sunmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasının dengesi, konak organizmanın sağlığını sürdürebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Fermente gıdalar, içerisindeki probiyotik ve prebiyotikler ile bağırsak ekosisteminin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Gómez-Gallego ve ark., 2020). Bitkisel kaynaklı fermantasyon süreçlerinde sentezlenen kısa zincirli yağ asitleri, özellikle bütirat, propiyonat ve asetat, bağırsak epitel hücrelerinin temel enerji kaynağı olarak görev yapmakta ve bağırsak bariyerinin işlevselliğini desteklemektedir (Zhao ve ark., 2021). Fermente bitki bazlı ürünlerde bulunan laktik asit bakterileri ve bifidobakteriler gibi yararlı mikroorganizmalar, bağırsak ortamında zararlı patojenlerin çoğalmasını engelleyen ve bağışıklık yanıtını düzenleyen metabolitler üretmektedir (Kleerebezem ve ark., 2019). Özellikle *Lactobacillus plantarum* ve *Bifidobacterium breve* türleri, bağırsak mikrobiyotasının dengesini koruyarak inflamatuvar süreçlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Singh ve ark., 2023). Fermente bitkisel ürünlerde yüksek oranda bulunan prebiyotik lifler, örneğin arabinoksilan ve β -glukanlar, bağırsakta bulunan faydalı bakterilerin fermantasyonunu teşvik ederek probiyotik popülasyonların çoğalmasını desteklemektedir. Bu durum, fermente ürünlerin simbiyotik özellikler kazanmasına ve bağırsak mikrobiyotasının sağlıklı bir yapıya kavuşmasına olanak sağlamaktadır (Kumar ve Patel, 2024).

1.4.2. Bitki Bazlı Fermente Sosların Bağışıklık Sistemine Etkisi

Probiyotik mikroorganizmalar, insan bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bağırsak mikrobiyotasının önemli bir bileşeni olan bu canlılar, konak organizmanın savunma mekanizmalarını güçlendirerek patojenlere karşı koruyucu bir etki sunmaktadır (Kleerebezem ve Vaughan, 2019). *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* cinsleri, bağışıklık hücrelerinin aktivasyonu ve sitokin salınımı noktasında kritik fonksiyonlar gerçekleştirmektedir. Probiyotiklerin bağışıklık sistemi üzerindeki olumlu etkisi hem doğuştan gelen hem de kazanılmış bağışıklık yanıtlarını düzenleme yeteneğinde olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu mikroorganizmalar, bağırsak mukozasında bulunan dendritik hücreler, makrofajlar ve T lenfositlerin aktivitelerini modüle ederek inflamatuvar tepkileri dengelemektedir (Singh ve ark., 2023).

Probiyotikler bağırsak bariyerinin işlevselliğinin artırılmasında da kritik bir rol oynamaktadır. Mukozal epitel hücreler arasındaki sıkı bağlantıları güçlendirerek bu canlılar, patojenlerin bağırsak duvarını geçmesini önlemekte ve böylece sistemik inflamasyonun oluşma riskini azaltmaktadır (Kleerebezem ve Vaughan, 2019). Bu mekanizma, özellikle bağışıklık yetersizliği veya alerjik durumların tedavisinde probiyotiklerin terapötik değerini ortaya koymaktadır. Bitki bazlı fermente ürünlerde bulunan probiyotikler de benzer şekilde bağışıklık sisteminin desteklenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu ürünlerin düzenli tüketimi hem lokal hem sistemik bağışıklık yanıtlarını iyileştirerek enfeksiyonlara karşı vücut direncini artırmaktadır (Singh ve ark., 2023).

1.4.3. Bitki Bazlı Fermente Sosların Sağlık Üzerindeki Diğer Olumlu Etkileri

Fermente soslar, tarih boyunca geleneksel mutfaklarda yaygın olarak üretilmiş olup, günümüzde sağlık açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bitki bazlı fermente soslar, zengin biyoaktif içerikleriyle sağlık üzerinde destekleyici etkiler sunan fonksiyonel ürünler olarak değerlendirilmektedir (Lee ve ark., 2021). Özellikle antioksidan kapasitesi, vitaminler ve kısa zincirli yağ asitleri içeriğince zengin olmaları nedeniyle oksidatif strese karşı koruyucu etkiler sergilemektedir. Diyet programlarına fermente sosların dâhil edilmesi, bitkisel gıdaların sindirim ve emilimini kolaylaştırmaktadır. Fermantasyon sırasında fitik asit ve tanen gibi maddelerin azalması, mineral emilimini

artırarak besin değerini yükseltmektedir (Adebo ve ark., 2022). Zengin duyuşal profilleri tüketici tercihlerini olumlu yönde etkilerken, bu ürünler metabolik hastalıkların önlenmesinde faydalı sonuçlar ortaya koymaktadır (Nguyen ve ark., 2022).

2. SONUÇ

Bitki bazlı fermente gıdaların üretim süreci, mikrobiyal kompozisyonu, biyokimyasal reaksiyonlar ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri incelendiğinde, fermentasyonun yalnızca geleneksel üretim süreci değil, aynı zamanda bitkisel kaynaklı gıdaların fonksiyonel değerini artıran biyoteknolojik bir süreç olduğu anlaşılmaktadır. Bu noktada bitki bazlı fermente ürünler, sürdürülebilir beslenme açısından geleceğin gıda trendleri arasında önemli konuma sahiptir. Bu ürünlerin bilinçli ve düzenli tüketimi hastalık risklerinin azaltılması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Ayrıca süt ve et kaynaklı fermente gıdalara alternatif olarak geliştirilen bu ürünler, özellikle vegan ve laktoz intoleransı olan bireyler için besleyici ve fonksiyonel seçenekler sunmaktadır. Bununla birlikte, profesyonel mutfaklar için endüstriyel ölçekte ürünlerin mikrobiyal standardizasyonunun sağlanması, kontaminasyon risklerinin minimize edilmesi ve ürünlerin raf ömrünün uzatılması noktasında gerekli önlemler alınmalıdır. Sonuç olarak, profesyonel mutfaklarda üretilen bitki bazlı fermente soslar, modern beslenme rejimlerinde duyuşal özellikleri iyileştirici ve sağlığa olumlu etkileri bulunan fonksiyonel gıdalar olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022). Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. *Fermentation*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020063>
- Arshad, N., Akhtar, S., Ismail, T., Saeed, W., Qamar, M., Özogul, F., Bartkiene, E., & Rocha, J. M. (2023). The Comparative Effect of Lactic Acid Fermentation and Germination on the Levels of Neurotoxin, Anti-Nutrients, and Nutritional Attributes of Sweet Blue Pea (*Lathyrus sativus* L.). *Foods*, 12(15), 2851. <https://doi.org/10.3390/foods12152851>
- Boukid, F., Hassoun, A., Zouari, A., Tülbek, M. Ç., Mefleh, M., Aït-Kaddour, A. ve Castellari, M. (2023). Fermentation for Designing Innovative Plant-Based Meat and Dairy Alternatives. *Foods*, 12(5), 1005. <https://doi.org/10.3390/foods12051005>
- Brigante, F. I., Solovyev, P., & Bontempo, L. (2024). Nuclear Magnetic Resonance Applications in Fermented Foods and Plant-Based Beverages: Challenges and Opportunities. *Food Reviews International*, 40(10), 3370–3397. <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2355271>
- Bürck, M., Lemes, A. C., Egea, M. B., & Braga, A. R. C. (2024). Exploring the Potential and Challenges of Fermentation in Creating Foods: A Spotlight on Microalgae. *Fermentation*, 10(12), 649. <https://doi.org/10.3390/fermentation10120649>
- Çelik, S. (1988). Geleneksel fermente ürünler. *Gıda*, 13(4).
- Chen, X., Liu, Y., & Zhang, Q. (2023). Metabolic roles of *Lactiplantibacillus plantarum* in phenolic acid transformation during fermentation. *Journal of Food Biochemistry*, 47(2), 10-18.
- Dahiya, D., & Nigam, P. S. (2023). Use of Characterized Microorganisms in Fermentation of Non-Dairy-Based Substrates to Produce Probiotic Food for Gut-Health and Nutrition. *Fermentation*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010001>
- Dhiman, S., Kaur, S., Thakur, B., Singh, P., & Tripathi, M. (2025). Nutritional Enhancement of Plant-Based Fermented Foods: Microbial Innovations

- for a Sustainable Future. *Fermentation*, 11(6), 346.
<https://doi.org/10.3390/fermentation11060346>
- Dong, Y., Li, M., & Yue, X. (2024). Current Research on Probiotics and Fermented Products. *Foods*, 13(9), 1406.
<https://doi.org/10.3390/foods13091406>
- Elhalis, H., See, X. Y., Osen, R., Chin, X. H., & Chow, Y. (2023). Significance of Fermentation in Plant-Based Meat Analogs: A Critical Review of Nutrition, and Safety-Related Aspects. *Foods*, 12(17), 3222.
<https://doi.org/10.3390/foods12173222>
- Emkani, M., Oliete, B., & Saurel, R. (2022). Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*, 8(6), 244.
<https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>
- Erdem, Ö., & Arman A. Profesyonel Mutfaklar Kitabı. (s: 9) (ResearchGate).
- Feng, R., Chen, L., & Chen, K. (2018). Fermentation trip: amazing microbes, amazing metabolisms. *Annals of Microbiology*, 68(11), 717-729.
- Fijan, S., Fijan, P., Wei, L., & Marco, M. L. (2024). Health Benefits of Kimchi, Sauerkraut, and Other Fermented Foods of the Genus Brassica. *Applied Microbiology*, 4(3), 1165–1176.
<https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030079>
- Gangakhedkar, P. S., Deshpande, H. W., Törös, G., El-Ramady, H., Elsakhawy, T., Abdalla, N., Shaikh, A., Kovács, B., Mane, R., & Prokisch, J. (2025). Fermentation of Fruits and Vegetables: Bridging Traditional Wisdom and Modern Science for Food Preservation and Nutritional Value Improvements. *Foods*, 14(13), 2155.
<https://doi.org/10.3390/foods14132155>
- Gómez-Gallego, C., Pohl, S., Salminen, S., & De Vos, W. M. (2020). Fermented plant foods and their impact on gut microbiota and health. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 40–47.
- Habtamu, H., Bottari, B., Scazzina, F., & Carini, E. (2025). Eastern African traditional fermented foods and beverages: Advancements, challenges, and perspectives on food technology, nutrition, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(2).
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.70137>
- Hackmann, T. J. (2024). The vast landscape of carbohydrate fermentation in prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(4), fuac016.

- Hasan, M. N., Sultan, M. Z., & Mar-E-Um, M. (2014). Significance of Fermented Food in Nutrition and Food Science. *Journal of Scientific Research*, 6(2), 373–386.
- Hidalgo-Fuentes, B., de Jesús-José, E., Cabrera-Hidalgo, A. d. J., Sandoval-Castilla, O., Espinosa-Solares, T., González-Reza, R. M., Zambrano-Zaragoza, M. L., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2024). Plant-Based Fermented Beverages: Nutritional Composition, Sensory Properties, and Health Benefits. *Foods*, 13(6), 844. <https://doi.org/10.3390/foods13060844>
- Joshi, V. K., & Somesh, S. (2010). Preparation and evaluation of sauces from lactic acid fermented vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 47(2), 214–218. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0037-x>
- Karaçıl, M. Ş., & Tek, N. A. (2013). Dünyada Üretilen Fermente Ürünler: Tarihsel Süreç ve Sağlık ile İlişkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 163–174.
- Kırmızıkuşak, D. (2021). Uluslararası Mutfaklarda Kültürel Etkileşim: Yaygın Kullanılan Soslar (Cultural Interaction in International Cuisines: Commonly Used Sauces). *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 9(2), 1187–1203.
- Kleerebezem, M., & Vaughan, E. E. (2019). Probiotic and gut microbiota modulation: Mechanisms and health implications. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 16(12), 83–91.
- Kumar, V., & Patel, S. (2024). Prebiotic oligosaccharides formation from plant polysaccharides during fermentation and their health implications. *Journal of Functional Foods*, 78, 13–22.
- Kumar, V., & Patel, S. (2024). Prebiotic potential of dietary fibers in fermented plant-based foods and their effects on gut microbiota. *Journal of Functional Foods*, 80, 20–29.
- Kusumoto, K.-I., Yamagata, Y., Tazawa, R., Kitagawa, M., Kato, T., Isobe, K., & Kashiwagi, Y. (2021). Japanese Traditional Miso and Koji Making. *Journal of Fungi*, 7(7), 579. <https://doi.org/10.3390/jof7070579>
- Lee, J., Kim, H., & Park, S. (2021). Functional properties of fermented plant-based sauces and their health benefits. *Food Science and Biotechnology*, 30(1), 3–12.

- Lee, Y., Kim, D., & Cho, S. (2021). Enhancement of antioxidant properties in fermented plant-based sauces: A biochemical perspective. *Food Research International*, 140, 5–13.
- Liu, S., Hu, J., Zhong, Y., Hu, X., Yin, J., Xiong, T., & Xie, M. (2024). A review: Effects of microbial fermentation on the structure and bioactivity of polysaccharides in plant-based foods. *Food Chemistry*, 440, 137453.
- Liu, W., Zhang, H., & Chen, F. (2023). Enzymatic degradation of plant proteins and polysaccharides during fermentation: Implications for bioactivity. *Food Microbiology*, 108, 4–12.
- Masiá, C., Geppel, A., Jensen, P. E., & Buldo, P. (2021). Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on Physicochemical Properties of Fermented Plant-Based Raw Materials. *Foods*, 10(3), 573. <https://doi.org/10.3390/foods10030573>
- Mataragas, M., & Bosnea, L. (2022). Fermented Foods: New Concepts and Technologies for the Development of New Products, Quality Control. *Foods*, 11(3), 441. <https://doi.org/10.3390/foods11030441>
- Nguyen, T., Hoang, T., & Tran, L. (2022). Immunomodulatory effects of bioactive peptides in fermented foods: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(1), 8–16.
- Palamutoğlu, R., İnce Palamutoğlu, M., & Kasnak, C., Özen, B. (2022). Fermente Gıdaların Tüketimi ve bu Gıdalar Hakkında Bilgi Düzeylerinin Sağlık Harcamalarına ve Ekonomiye olan Etkisi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 17(65), 236–248. <https://doi.org/10.19168/jyasar.1058758>
- Parvez, S., Malik, K. A., Kang, S. A., & Kim, H.-Y. (2006). Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. *Journal of Applied Microbiology*, 100(6), 1171–1185.
- Park, I., & Mannaa, M. (2025). Fermented Foods as Functional Systems: Microbial Communities and Metabolites Influencing Gut Health and Systemic Outcomes. *Foods*, 14(13), 2292. <https://doi.org/10.3390/foods14132292>
- Park, J., Kim, Y., & Lee, S. (2022). Probiotic interventions in gut microbiota and immune regulation through fermented plant-based foods. *Frontiers in Microbiology*, 13, 17–26.

- Peng, B., Nie, P., & Xu, H. (2025). Plant-Based Fermented Foods: Classification, Biochemical Transformations, and Health Benefits. *Fermentation*, 11(7), 364. <https://doi.org/10.3390/fermentation11070364>
- Rajendran, S., Silcock, P., & Bremer, P. (2023). Flavour Volatiles of Fermented Vegetable and Fruit Substrates: A Review. *Molecules*, 28(7), 3236. <https://doi.org/10.3390/molecules28073236>
- Sarıtaş, S., Portocarrero, A. C. M., Miranda López, J. M., Lombardo, M., Koch, W., Raposo, A., El-Seedi, H. R., de Brito Alves, J. L., Esatbeyoglu, T., Karav, S., & Witkowska, A. M. (2024). The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products. *Molecules*, 29(16), 3941. <https://doi.org/10.3390/molecules29163941>
- Sawant, S. S., Park, H.-Y., Sim, E.-Y., Kim, H.-S., & Choi, H.-S. (2025). Microbial Fermentation in Food: Impact on Functional Properties and Nutritional Enhancement—A Review of Recent Developments. *Fermentation*, 11(1), 15. <https://doi.org/10.3390/fermentation11010015>
- Singh, R., Sharma, P., & Gupta, N. (2023). Functional roles of probiotics in plant-based fermented products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(1), 1–15.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Lin, M. (2022). Research Progress of Fermented Functional Foods and Protein Factory-Microbial Fermentation Technology. *Fermentation*, 8(12), 688. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120688>
- Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). “Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages.” *Frontiers in Microbiology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Wang, X., Yılmaz, A., & Zhang, Y. (2023). Proteolytic enzyme-driven transformations of plant-based proteins during fermentation: Impacts on amino acids, peptides and volatile aromatic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 345-359.
- Yang, X., Hong, J., Wang, L., Cai, C., Mo, H., Wang, J., Fang, X., & Liao, Z. (2024). Effect of lactic acid bacteria fermentation on plant-based products. *Fermentation*, 10(1), 48. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010048>
- Zhao, G., Feng, Y., Hadiatullah, H., Zheng, F., & Yao, Y. (2021). Chemical characteristics of three kinds of Japanese soy sauce based on electronic

senses and GC-MS analyses. *Frontiers in Microbiology*, 11, 579808.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.579808>

Zhao, Y. S., Eweys, A. S., Zhang, J. Y., Zhu, Y., Bai, J., Darwesh, O. M., Zhang, H. B., & Xiao, X. (2021). Fermentation Affects the Antioxidant Activity of Plant-Based Food Material through the Release and Production of Bioactive Components. *Antioxidants*, 10(12), 2004.
<https://doi.org/10.3390/antiox10122004>

BÖLÜM 4

GIDALARDA TOKSİK METAL ANALİZİNDE ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROFOTOMETRESİ

Dr. Songül ŞAHİN ERCAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17870472>

¹ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Bölümü Gaziantep, Türkiye.
sosahin@gantep.edu.tr Orcid ID: 0000-0003-1630-7552

GİRİŞ

Gıda ürünleri, temel besin maddelerinin yanı sıra besleyici olmayan elementler ve potansiyel olarak toksik metaller de dahil olmak üzere çeşitli maddeler içerebilir. Metal kirleticiler gıda zincirinde birikme potansiyeline sahiptir. Bu kirleticiler güvenli eşikleri aştıklarında insanlar için zehirleyici olabilir ve sağlık sorunlarına yol açabilirler. Bu tür zararlı maddelere maruz kalmanın neden olduğu sağlık tehlikelerini azaltmak için, çeşitli gıda örneklerindeki metal konsantrasyonlarının doğru bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Gıda maddelerinde toksik metallerin bulunması, insan sağlığı açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle, toksik metal birikiminin erken tespiti ve düzenli izlenmesini sağlayacak etkili analitik metodolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu zorunluluk tahıllar, bakliyatlar, sebzeler, meyveler ve tıbbi bitkiler de dahil olmak üzere çok çeşitli gıda ürünlerini kapsamaktadır (Şekil 1) (Ghanati ve ark., 2019; Dong ve ark., 2023; He ve ark., 2024).

Günlük olarak tükettiğimiz gıdalarda sıklıkla rastlanan Cd (Kadmiyum), Pb (Kurşun), Hg (Civa) ve Ni (Nikel) gibi toksik metallerin düzeylerine dikkat edilmesi büyük önem taşımaktadır. Toksik metallerin sağlık üzerindeki etkileri, bu metallerin türüne ve formuna bağlıdır. Sonuç olarak toprak, gıda ve insan numunelerindeki metal türlerinin araştırılması, ilgili sağlık risklerinin ve biyoyararlanım, toksisite ve biyolojik tepkiler gibi faktörlerin anlaşılması için zorunludur (Koch ve ark., 2022).

Tahıllar, meyveler, su, çay ve diğer işlenmiş tarım ürünleri de dahil olmak üzere çeşitli gıda hammaddelerinde ağır metallerin tespiti, gıda güvenliği ve kalitesinin sağlanması için bir gerekliliktir. Bu da ancak etkili analitik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Güvenlik kaygılarının yanı sıra, gıdalarda ağır metallerin bulunması tüketici endişesini artırarak gıda markalarının itibarını zedeleyebilir ve bu durum, sektör genelinde önemli mali kayıplara yol açabilir (Guo ve ark., 2023; Raji ve ark., 2023).

faaliyetler ve yakıt tüketimi sonucunda yüzeye çıkma kapasitesine sahiptir. Gübrelerin kullanımı ve tarım faaliyetlerinin, toprak, hava ve sudaki eser elementlerin biyoyararlanımını artırdığı kanıtlanmıştır. Toksik eser elementlerin neden olduğu kontaminasyon, gıda tedarik zinciri üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı olarak büyük bir etkiye sahiptir. Bunun nedeni, sudaki canlılar, hayvanlar, insanlar ve bitkiler üzerinde etkisi olmasıdır. İz elementler biyolojik canlı organizmalarda birikebilir ve toksik konsantrasyonlara ulaşarak ciddi olumsuz etkilere neden olabilir (Kumar ve ark., 2019; Balali-Mood ve ark., 2021).

Eser elementlerin doğada uzun süre kalabilmeleri, biyolojik olarak parçalanamayan yapılarına bağlıdır. Bu özellik, eser elementlerin uzun süre kalıcı olmalarını sağlar. Toprak ve tortularda bulunan eser elementlerin, çözünene kadar çevre içinde varlıklarını sürdürdükleri bilinmektedir. Bu eser elementler, toprak veya tortulardaki diğer elementlerle etkileşime girerek daha toksik hale gelebilirler. Bazı araştırmalar, vücutta genellikle düşük seviyelerde Pb, Cd, Hg ve As bulunduğunu, ancak yüksek düzeyde toksik element içeren besin alımının kemiklerde, böbreklerde ve karaciğerde birikime yol açabileceğini ortaya koymuştur. Bu birikim, hayvanlar ve dokular arasında ve ayrıca farklı türler arasında farklılık gösterir. Balık dokularında, ticari yemlerden, sudan ve avlanmadan kaynaklı eser elementler birikir. Bu elementler kanserojendir ve biyolojik olarak sistemde birikir. Eser elementler biyolojik olarak parçalanamadığından, organizmalar bunları belirli granüllerde depolayarak veya dışarı atarak detoksifiye edebilir (Hejna ve ark., 2018; Briffa ve ark., 2020; El Hosry ve ark., 2023).

Araştırmaların bulguları, eser elementlerin çevresel ortamlarda ve biyolojik sistemlerde kalıcı olma özelliği gösterdiğini kesin olarak ortaya koymakta ve bu da onların besin zinciri boyunca birikme potansiyeline işaret etmektedir. Farklı ülkelerde bildirilen çeşitli gıda bileşenlerinin konsantrasyonları, coğrafi ve endüstriyel farklılıklar ile çevresel maruziyet düzeyine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Tablo 1' de derlenen veriler, gıdalardaki eser elementlerin dağılımı ile ilgili mevcut literatürden elde edilmiştir. Bu verilerin derlenmesinin amacı, potansiyel risklerin daha kapsamlı ve karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmesini kolaylaştırmaktır.

Tablo 1. Farklı ülkelerde farklı gıdalarda bildirilen As, Hg, Pb, Cd ve Cr düzeyleri.

Toksik Element	Gıda	Ülke	Miktar	Referans
Cr	Balık ve deniz ürünleri	Vietnam	Kaplan karidesi: 1.46 mg/kg Salyangoz: 1.69 mg/kg Yayın balığı: 12.25 mg/kg	Ngoc ve ark., 2020
Cd	Balık ve deniz ürünleri	Norveç	Yengeç eti: 0.003-0.006mg/kg	Wiech ve ark., 2020
Hg	Balık ve deniz ürünleri	İtalya	Balık: 0.03–0.64 g/g	Barone ve ark., 2021
Hg	Balık ve deniz ürünleri	Polonya	Balık: 9.04–606.3 g/kg	Mielcarek ve ark., 2022
As	Balık ve deniz ürünleri	Polonya	Balık: 23.3–59,290.1 g/kg	Mielcarek, ve ark., 2022
As	Balık ve deniz ürünleri	Yunanistan	Balık: 11.8–62.6mg/kg	Kalantzi ve ark., 2017
As	Balık ve deniz ürünleri	Türkiye	Balık: 23.3–59,290.1 g/kg	Varol ve ark., 2019
As	İçme suyu	Meksika	7–600 g/L	Fisher ve ark., 2017
As	İçme suyu	Hindistan	0.01–732 g/L	Mondal ve ark., 2021
Hg	Su	İran	67.41 g/kg	Ghasemidehkordi ve ark., 2018
Pb	Su	İran	494.12 g/kg	Ghasemidehkordi ve ark., 2018
Cd	Su	Nijerya	0.09mg/kg	Lawal ve ark., 2017
Cd	Su	Hindistan	0.05–0.07mg/L	Idrees ve ark., 2018
Cr	Su	Kanada	<0.1 µg/L	WRC, 2015
Cr	Su	Amerika	0.1–2 µg/L	Moffat ve ark., 2018
Cr	Su	Malezya	Musluk suyu: $1.0 \cdot 10^{-4}$ / $9.5 \cdot 10^{-4}$ mg/L	Ahmed ve Mokhtar, 2020
Cr	Su	Vietnam	Yüzey suyu: 0.32–4.32mg/L Kuyu suyu: 0.02–0.82mg/L	Ngoc ve ark., 2020
As	Süt ve süt ürünleri	Çin	0.004mg/kg	Wang ve ark., 2020

Hg	Süt ve süt ürünleri	Hindistan	Süt: 4.88–7.23 g/kg Peynir: 4.87–8.68 g/kg Süt tozu: 3.34–5.55 g/kg	Singh ve ark., 2019
Pb	Süt ve süt ürünleri	Çin	0.0084mg/kg	Wang ve ark., 2020
Pb	Süt ve süt ürünleri	Hindistan	Süt: 9.96–11.89 g/kg Peynir:9.16–10.99g/kg Süt tozu:3.99–5.01 g/kg	Singh ve ark., 2019
Pb	Süt ve süt ürünleri	Polonya	Süt: 0.012–0.234mg/kg	Sujka ve ark., 2019
Cd	Süt ve süt ürünleri	Çin	0.0097mg/kg	Wang ve ark., 2020
Cd	Süt ve süt ürünleri	Hindistan	Süt: 4.55–8.16 g/kg Peynir: 3.16–10.93 g/kg Süt tozu: 7.73–10.2 g/kg	Singh ve ark., 2019
Cr	Süt ve süt ürünleri	Fransa	Süt: 6.2–12 g/kg Peynir: 4.8–101 g/kg Ultra-taze süt ürünleri: 1.1–21 g/kg	Hernandez ve ark., 2019
As	Tahıl	Hindistan	Buğday unu:3.6–448 g/kg	Mondal ve ark., 2021
Pb	Tahıl	Pakistan	Buğday:0.05–0.29mg/kg	Khan ve ark., 2017
Pb	Tahıl	İran	Buğday:0.044mg/kg	Ghanati ve ark., 2019
Cr	Tahıl ve tahıl ürünleri	Fransa	Ekmek: 20–135 g/kg Kahvaltılık tahıllar: 35–483 g/kg Makarna: bulunamadı Pirinç ve buğday ürünleri: 10–33 g/kg	Hernandez ve ark., 2019
Cd	Pirinç	Portekiz	0.005mg/kg	Pinto ve ark., 2016
Cd	Pirinç	Sri Lanka	0-0.1589mg/kg	Navarathna ve ark., 2021

Cd	Pirinç	Çin	0.02–3.61mg/kg	Chen ve ark., 2018
Cd	Pirinç	Amerika	1.7–71 g/kg	TatahMentan ve ark., 2020
As	Sebze	Hindistan	Patates:5.6–176 g/kg	Mondal ve ark., 2021
Pb	Sebze	Çin	Lifli sebzeler: 0.154mg/kg Kök sebzeler: 0.068mg/kg	Zhong ve ark., 2018
Pb	Sebze	İran	Patates: 0.007–0.064mg/kg Soğan: 0.002–0.076mg/kg Havuç: 0.006–0.120mg/kg	Heshmati ve ark., 2020
Cd	Sebze	Kamerun	Lahana: 0.15mg/kg Havuç: 0.16mg/kg	Fonge ve ark., 2021
Cd	Sebze	Nijerya	Soğan: 2.48–6.0mg/kg Ispanak yaprağı: 0.11–0.21mg/kg Ispanak dalı: 0.26–0.31mg/kg	Lawal ve ark., 2017
Cd	Sebze	Çin	Lifli sebzeler: 0.01–1.28mg/kg	Chen ve ark., 2018
Cd	Sebze	Hindistan	Mango: 0.01–0.08mg/kg	Şiri' c ve ark., 2022

2. POTANSİYEL TOKSİK METALLERİN TESPİTİ İÇİN ANALİTİK TEKNİKLER

Gıda ürünlerindeki potansiyel olarak tehlikeli metalleri belirlemek amacıyla çok sayıda analitik metodoloji geliştirilmiştir. Bunlar; indüktif olarak eşleşmiş plazma-kütle spektrofotometresi (ICP-MS), indüktif olarak eşleşmiş plazma-atomik emisyon spektrofotometresi (ICP-AES), indüktif olarak eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrofotometresi (ICP-OES), lazer ablasyon-indüktif olarak eşleşmiş plazma-kütle spektrofotometresi (LA-ICP-MS), alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (F-AAS), grafit fırın atomik absorpsiyon spektrofotometresi (GF-AAS), soğuk buhar-atomik absorpsiyon spektrometrisi (CV-AAS), hidrit jenerasyonu atomik absorpsiyon spektrometrisi (HG-AAS), atomik floresans spektrometrisi (AFS), X-ışını absorpsiyon spektroskopisi (XAS), enerji dağılımlı X-ışını floresanı (EDXRF), toplam yansımalı X-ışını floresanı (TXRF), sıyırma potansiyometresi, anodik sıyırma voltametresi (ASV) ve diferansiyel puls-anodik sıyırma voltametresi (DPAS). V), enstrümantal nötron aktivasyon analizi (INAA) ve X kapiller bölge elektroforezi (Mustatea ve Ungureanu, 2024).

Bu kapsamda, gıdalarda potansiyel olarak tehlikeli metalleri belirlemek ve miktarlarını saptamak amacıyla çok sayıda analitik yöntemin geliştirilmiş olması önem taşımaktadır. Endüktif eşleşmiş plazma tabanlı sistemler, X-ışını floresans yöntemleri ve elektro-analitik teknikler; yüksek çoklu element analiz kapasitesi ve düşük tespit limitleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemler yüksek ekipman maliyetleri, karmaşık numune hazırlama gereksinimleri ve deneyimli personel ihtiyacı gibi sınırlamalarla ilişkilidir. Bu nedenle atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), yüksek hassasiyeti, seçiciliği, güvenilirliği, geniş uygulama alanı ve nispeten düşük işletme maliyetleriyle öne çıkmaktadır. Bu özellikleri, AAS'ı özellikle gıda numunelerinde metal analizinde tercih edilen ve yaygın olarak kullanılan bir teknik hâline getirmektedir. Bu nedenle bu bölümde AAS tekniğinin prensipleri, analitik performansı, uygulama alanları ve güncel gelişmeler detaylandırılacaktır (El Hosry ve ark., 2023).

2.1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Atomik absorpsiyon ilk olarak 1802 yılında Wollaston'un güneşin emisyon spektrumundaki karanlık bantları gözlemlemesiyle ortaya çıkmıştır. 1859'da Kirchhoff ve Bunsen, Wollaston'un gözlemini doğru bir şekilde açıklayarak, karanlık bantların emisyon radyasyonunun güneşteki temel gaz fazı atomları tarafından emilmesinden kaynaklandığını ortaya koymuşlardır (Lagalante, 2007).

Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), keşfinden bu yana hem metalik hem de metalik olmayan elementlerin analizi için standart bir yöntem olarak kabul görmüştür. AAS, element seçici olma özelliği ve yüksek analitik hassasiyet sağlama kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kabul gören bir tekniktir. AAS' nin metallerin analizinde standart bir prosedür olarak uygulanması, endüstriyel üretim, jeoloji, tıp, gıda ve tarım dahil olmak üzere çeşitli alanları kapsar (Butcher, 2013; Balaram ve ark., 2016; Kroukamp ve ark., 2016; Mketo ve ark., 2016).

Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS), incelenen kimyasal element tarafından absorbe edilen radyasyonu ölçerek çeşitli örneklerde bulunan kimyasal elementlerin miktarını ölçmeye yarayan bir tekniktir. Bu işlem, numunenin radyasyon ile uyarılması sonucu oluşan spektrumların okunması ile gerçekleştirilir. Bu durumda atomlar ultraviyole veya görünebilir ışığı emer ve daha yüksek enerji seviyelerine geçiş yapar. Atomik absorpsiyon metotları, numune tarafından absorbe edilen ışık fotonları şeklindeki enerji miktarını ölçer (Ferreira ve ark., 2018).

Atomik spektroskopi, bir hedef numunenin elementel kantitatif analizine olanak tanıyan çeşitli analitik tekniklerden oluşur. Çeşitli metallerin seviyelerinin belirlenmesi tıbbi, gıda, çevre ve çok çeşitli üretim sektörlerinde gerekli olduğundan, bu yöntem metal analizi için yaygın olarak uygulanmaktadır.

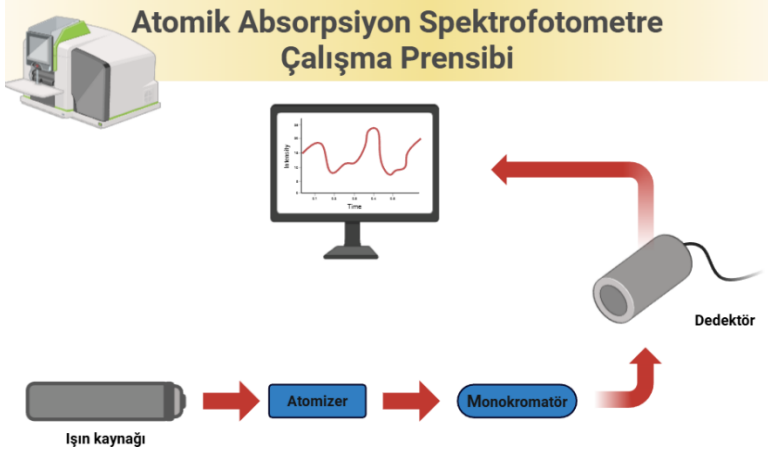
Ölçülen parametreye bağlı olarak, atomik spektroskopi teknikleri ışık absorpsiyonu, emisyonu veya floresansına dayalı üç ana sınıflandırmaya ayrılabilir. Atomik floresansın belirli metal iyonlarının tanımlanması için alternatif yöntemlerden daha üstün tespit limitleri sunduğu kanıtlanmış

olmasına rağmen, gıda endüstrisinde kullanımı seyrek (Mustatea ve Ungureanu, 2024).

Atomik spektroskopisi, ışığın soğurulması sonucunda atomik enerjide meydana gelen kuantize dalgalanmalara dayanır. Soğurma işlemi, enerjinin bir atomdan bir elektrona geçişi olarak tanımlanır; böylece elektron, temel durumdaki daha düşük enerjili bir orbitalden daha yüksek enerjili bir orbitale geçerken atomun enerjisi artar. Uyarılmış durumdaki atomlar, bir elektronun daha düşük enerjili temel duruma geri dönmesi üzerine ışık yayar. Atomik orbitaller ayrık ve az sayıda olduğundan, atomik spektrumlar tek dalga boylarında dar geçiş bantları içerir. Bu bantlar, her bir metale özgü atomik orbitaller arasındaki çeşitli geçiş enerji değerlerine karşılık gelir. Analitik teknikler genellikle alev, fırın veya plazma gibi kullanılan atomizasyon/iyonizasyon kaynağına veya absorpsiyon, emisyon, floresan veya kütle gibi kullanılan belirli spektroskopisi yöntemine göre farklı kategorilerde sınıflandırılır. Bu faktörlerin kombinasyonları, farklı performans özellikleri sergileyen çok sayıda analitik tekniğin ortaya çıkmasına neden olur (Ferreira ve ark., 2018).

2.1.1. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrenin Bölümleri

Atomik absorpsiyon spektrofotometrisi, diğer spektrofotometri türlerine benzer bir donanıma sahiptir. Bununla birlikte, atomik absorpsiyon spektrofotometrisi, kendine özgü bir özelliğe, yani atomizere sahiptir. Bu atomizer, dalga boyunu Lambert yasasıyla doğru orantılı olarak absorbe eder. Aşağıda atomik absorpsiyon spektrofotometrisinin bölümleri incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Atomik absorpsiyon spektrofotometrenin basit dizaynı.

Işık Kaynağı

Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde en sık kullanılan radyasyon veya ışın kaynakları içi boş katot lambaları (HCL) ve elektrotsuz deşarj lambalarıdır (EDL). İçi boş katot lambası (HCL), hem saf hem de karışık elementlerle kaplanmış içi boş bir katottan oluşan bir lambadır. Genel olarak HCL, dolgu gazı olarak Ne (Neon), Ar (Argon), He (Helyum) kullanır. Elektrotsuz deşarj lambaları (EDL), HCL'ye kıyasla daha yüksek emisyonlara ve daha dar kanal genişliklerine sahiptir. EDL'nin kararlı bir ünite haline gelmesi için daha fazla zaman ve ayrı bir güç gerekir (Paudel ve ark., 2021).

Atomizer

Atomizer, atomizasyon veya atom oluşumunda rol oynar. Atomik absorpsiyon spektrofotometrisinde atomizerler, brülörler veya yakıcılar ve nebulizörler veya sisleyiciler olarak ikiye ayrılır.

- a. **Brülör:** brülörün görevi, analiz edilecek bileşenlerden gelen tuz buharını alevde normal atomlara dönüştürmektir.
- b. **Nebülizatör:** nebulizatörde, oksidan gaz ve yakıtın emilmesi yoluyla kapillerden çözeltinin çekilmesi ve ardından bu çözeltinin sisleme odasına püskürtülmesi gerçekleşir. Bu, çözeltinin alevin içine girecek sis tanelerine dönüşmesine neden olur.

- c. **Monokromatör:** yayılan radyasyonu diğer radyasyonlardan daha spesifik olan elementlere ayırmakla görevlidir ve bu elementler daha sonra dedektör tarafından ölçülür (Yu, 2022).
- d. **Dedektör:** örnek tarafından iletilen radyasyon, dedektör tarafından elektrik enerjisi şeklinde ölçülür. Dedektör tarafından alınan radyasyon, rezonans çizgisi seçimi ve alev emisyonu sonuçlarından kaynaklanabilir. Söz konusu emisyon, analiz edilmiş atomik emisyonlardan türetilen bir emisyondur (Maharani ve ark., 2024).

Atomizasyon

Atomik absorpsiyon spektrofotometrisinde atomizasyon adı verilen özel bir işlem vardır. Atomizasyon, analitlerden elde edilen serbest gaz atomlarını dönüştürme işlemidir. Serbest atomlara dönüştürülecek sulu analitler, çözücünden arındırılmalı ve ardından buharlaştırılmalıdır. Atomik absorpsiyon spektrofotometrisinde atomizasyon üç aşamaya ayrılır:

Alevle Atomizasyon

Bu atomizasyonda, parçacık yanan gaz alevine dahil edilecektir. Alev sıcaklığı, oluşan atomik gaz kütlelerini etkileyecektir. Bu durumun temelinde, alev sıcaklığının oksijen ve yakıt gazının oranıyla doğrudan etkilenmesi yatmaktadır.

Buhar Üretim Yöntemi

Bu atomizasyon yöntemi dokuz adet element için belirlenmiştir. Bu elementler ise; As (Arsenik), Bi (Bizmut), Sn (Kalay), Se (Selenyum), Te (Tellür), Ge (Germanyum) ve Hg (Cıva)'dır. Bu yöntemde metal, basit moleküler formda bir çözelti içinde analiz edilir.

Fırın atomizasyonu

Bu atomizasyon, grafit tüp aracılığıyla optimum sıcaklığı artırarak çalışır. Numune çözeltisi, grafit tüpün üzerine yerleştirilir ve numune atomize olmaya başlayana kadar elektrik verilir ve ısıtılır. Gerekli ısınma sıcaklığı, atomların reaksiyona girebileceği en yüksek sıcaklık olarak ifade edilmiştir (Lagalante, 2007).

2.2. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre Teknolojisinde Yenilikçi Yaklaşımlar

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS), yüksek düzeyde element seçiciliği ve düşük tespit limitleri nedeniyle analitik kimya alanında önemini korumaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, atomizasyon verimliliğini artırmaya ve cihaz hassasiyetini iyileştirmeye odaklanmıştır. Daha yüksek hassasiyet elde etmek amacıyla yeni nesil elektro-termal atomizörler geliştirilmektedir.

Bilgisayar kontrollü otomasyon sistemlerinin hem alevli hem de elektro-termal sistemlerde operatör kaynaklı hataları önemli ölçüde azalttığı ve böylece analizlerin tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu artırdığı bulunmuştur. Bununla birlikte, elektro-termal AAS'nin hassasiyetini alevli sistemlerin seviyesine yükseltmek, halen araştırma konusu olmaya devam etmektedir. AAS'nin alternatif ayırma yöntemleriyle entegrasyonu özellikle önemlidir. AAS'nin sıvı kromatografi, gaz kromatografi ve süperkritik akışkan kromatografi sistemlerine element seçici bir dedektör olarak dahil edilmesinin, karmaşık matrislerde doğruluk ve seçiciliği artırdığı kanıtlanmıştır. Atomizasyon sürecinin doğasında var olan sınırlamalar, daha verimli ve hassas AAS teknolojilerine olan ihtiyacı sürekli olarak artırmaktadır (García ve Báez, 2012).

3. SONUÇ

Gıda ürünlerinde toksik metallerin varlığı hem gıda güvenliği hem de halk sağlığı açısından önemli bir konudur. Bu metallerin biyoyararlanımı, toksisitesi ve gıda zinciri boyunca birikme potansiyeli, gıda matrislerinde hassas, güvenilir ve tekrarlanabilir analitik yöntemlerin kullanılmasını gerektirir. Literatürde yapılan çalışmalar, farklı coğrafi bölgeler ve gıda grupları arasında metal seviyelerindeki değişikliklere ilişkin verilerin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu gözlem, küresel ölçekte düzenli izleme çalışmalarının gerekliliğini vurgular.

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi bu çerçevede, birkaç önemli faktör nedeniyle toksik metallerin analizinde temel bir teknik olarak kabul edilmektedir. İlk olarak, yüksek seçicilik özelliği sayesinde hassas ve doğru analiz imkânı sunar. İkincisi, düşük tespit limitlerine sahiptir, bu da eser miktarda metallerin tespitini kolaylaştırır. Üçüncüsü, çok çeşitli elementleri

kapsayan geniş bir yelpazeye sahiptir, bu da çok çeşitli metal bileşiklerinin analizine olanak tanır. Son olarak, maliyeti nispeten makuldür, bu da onu analitik amaçlar için uygun maliyetli bir çözüm haline getirir. Alev ve elektrotermal atomizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, bilgisayar kontrollü otomasyonun yaygın kullanımı ve hibrit sistemlerin kullanımı, bu yöntemin analitik performansını önemli ölçüde artırmıştır. Hem rutin analizlerde hem de araştırma odaklı çalışmalarda tercih edilmesinin ardındaki başlıca neden, karmaşık gıda matrislerinde bile yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlayabilme kapasitesidir. Atomizasyon verimliliğindeki gelişmeler, matris etkilerinin azaltılması, otomatik numune hazırlama sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesi ve taşınabilir atomik absorpsiyon spektrofotometresi cihazlarının geliştirilmesi, bu tekniğin gelecekte daha geniş bir alanda uygulanmasını kolaylaştıracaktır. Buna ek olarak, sürdürülebilir, hızlı ve numune hazırlama ihtiyacını azaltan analitik yaklaşımların atomik absorpsiyon spektrofotometre teknolojisine entegre edilmesi, gıda endüstrisinde daha çevik ve sürdürülebilir analiz stratejilerinin oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, atomik absorpsiyon spektrofotometre gıda ürünlerindeki toksik metal kontaminasyonunu izlemek için güvenilir ve ekonomik bir yöntem olmaya devam etmektedir. Teknolojik yenilikler ilerlemeye devam ettikçe, atomik absorpsiyon spektrofotometresinin önümüzdeki yıllarda gıda güvenliği çalışmaları ve düzenleyici analizler alanlarında önemli işlevini sürdürmesi beklenmektedir. Sonuç olarak, gereksinimlerin ilerlemesine uygun olarak metodolojinin sürekli iyileştirilmesi, alternatif tekniklerin kullanımıyla birlikte, toksik metal analizlerinin hassasiyetini ve güvenilirliğini bilimsel topluluk içinde geliştirmeye adaydır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M.F., and Mokhtar, M.B. (2020). Assessing Cadmium and Chromium Concentrations in Drinking Water to Predict Health Risk in Malaysia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 2966. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17082966>.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R., and Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
- Balaram, V. (2016). Recent advances in the determination of elemental impurities in pharmaceuticals e status, challenges and moving frontiers. *Trends in Analytical Chemistry*, 80, 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.02.001>
- Barone, G., Storelli, A., Meleleo, D., Dambrosio, A., Garofalo, R., Busco, A., and Storelli, M.M. (2021). Levels of Mercury, Methylmercury and Selenium in Fish: Insights into Children Food Safety. *Toxics*, 9, 39. <https://doi.org/10.3390/toxics9020039>.
- Briffa, J., Sinagra, E., and Blundell, R. (2020). Heavy Metal Pollution in the Environment and Their Toxicological Effects on Humans. *Heliyon* 6, e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- Butcher, D.J. (2013). Review: recent advances in optical analytical atomic spectrometry. *Applied Spectroscopy Review*, 48, 261-328.
- Chen, H., Yang, X., Wang, P., Wang, Z., Li, M., and Zhao, F.-J. (2018). Dietary Cadmium Intake from Rice and Vegetables and Potential Health Risk: A Case Study in Xiangtan, Southern China. *Science of the Total Environment*, 639, 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.050>.
- Dong, Q., Wu, Y., Li, B., Chen, X., Peng, L., Sahito, Z.A., Li, H., Chen, Y., Tao, Q., Xu, Q., Huang, R., Luo, Y., Tang, X., Li, Q., and Wang, C. (2023). Multiple insights into lignin-mediated cadmium detoxification in rice (*Oryza sativa*). *Journal of Hazardous Materials*, 458, 131931. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131931>.
- El Hosry, L.E., Sok, N., Richa, R., Mashtoub, L.A., Cayot, P., and Bou-Maroun, E. (2023). Sample Preparation and Analytical Techniques in the

- Determination of Trace Elements in Food: A Review. *Foods*, 12, 895. <https://doi.org/10.3390/foods12040895>.
- Ferreira, S. L. C., Bezerra, M. A., Santos, A. S., dos Santos, W. N. L., Novaes, C. G., de Oliveira, O. M. C., Oliveira, M. L., and Garcia, R. L. (2018). Atomic absorption spectrometry – A multi-element technique. *Trends in Analytical Chemistry*, 100, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.012>.
- Fisher, A.T., López-Carrillo, L., Gamboa-Loira, B., and Cebrián, M.E. (2017). Standards for Arsenic in Drinking Water: Implications for Policy in Mexico. *Journal Public Health Policy*, 38, 395–406.
- Fonge, B.A., Larissa, M.T., Egbe, A.M., Afanga, Y.A., Fru, N.G., and Ngole-Jeme, V.M. (2021). An Assessment of Heavy Metal Exposure Risk Associated with Consumption of Cabbage and Carrot Grown in a Tropical Savannah Region. *Sustainable Environment*, 7, 1909860. <https://doi.org/10.1080/27658511.2021.1909860>.
- García, R., & Báez, A. P. (2012). *Atomic absorption spectrometry*. In M. A. Farrukh (Ed.), *Atomic absorption spectroscopy* (pp.1-12). InTech.
- Ghanati, K., Zayeri, F., and Hosseini, H. (2019). Potential Health Risk Assessment of Different Heavy Metals in Wheat Products. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 18, 2093–100. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2019.1100865>.
- Ghasemidehkordi, B., Malekirad, A.A., Nazem, H., Fazilati, M., Salavati, H., Shariatifar, N., Rezaei, M., Fakhri, Y., and Mousavi Khaneghah, A. (2018). Concentration of Lead and Mercury in Collected Vegetables and Herbs from Markazi Province, Iran: A Non Carcinogenic Risk Assessment. *Food Chemical Toxicology*, 113, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.048>.
- Gumus, Z. P., and Soylak, M. (2021). Metal Organic Frameworks as Nanomaterials for Analysis of Toxic Metals in Food and Environmental Applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116417. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116417>.
- Guo, Z., Chen, P., Yosri, N., Chen, Q., Elseedi, H.R., Zou, X., and Yang, H. (2023). Detection of Heavy Metals in Food and Agricultural Products by Surface-enhanced Raman Spectroscopy. *Food Reviews International*, 39, 1440–61. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934005>.

- He, S., Niu, Y., Xing, L., Liang, Z., Song, X., Ding, M., and Huang, W. (2024). Research progress of the detection and analysis methods of heavy metals in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1310328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1310328>.
- Hejna, M., Gottardo, D., Baldi, A., Dell’Orto, V., Cheli, F., Zaninelli, M., and Rossi, L. (2018). Review: Nutritional Ecology of Heavy Metals. *Animal*, 12(10), 2156–2170. <https://doi.org/10.1017/S175173111700355X>.
- Hernandez, F., Bemrah, N., Séby, F., Noël, L., and Guérin, T. (2019). Cr(VI) and Cr(III) in Milk, Dairy and Cereal Products and Dietary Exposure Assessment. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 12, 209–215. <https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/19393210.2019.1598506>.
- Heshmati, A., Mehri, F., Karami-Momtaz, J., and Khaneghah, A.M. (2020). Concentration and Risk Assessment of Potentially Toxic Elements, Lead and Cadmium, in Vegetables and Cereals Consumed in Western Iran. *Journal of Food Protection*, 83, 101–107. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-312>.
- Idrees, N., Tabassum, B., Abd_Allah, E.F., Hashem, A., Sarah, R., and Hashim, M. (2018). Groundwater Contamination with Cadmium Concentrations in Some West U.P. Regions, India. *Saudi Journal Biological Science* 25, 1365–1368. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.005>.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N. Mathew, B.B., and Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7, 60–72.
- Kalantzi, I., Mylona, K., Sofoulaki, K., Tsapakis, M., and Pergantis, S.A. (2017). Arsenic Speciation in Fish from Greek Coastal Areas. *Journal of Environmental Science*, 56, 300–312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.03.033>.
- Khan, Z.I., Ahmad, K., Rehman, S., Siddique, S., Bashir, H., Zafar, A., Sohail, M., Ali, S.A., Cazzato, E., and De Mastro, G. (2017). Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wheat Using Different Water Qualities: Implication for Human Health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 947–955. DOI 10.1007/s11356-016-7865-9.
- Koch, W., Czop. M., Hłowiecka, K., Nawrocka, A., and Wiącek, D. (2022). Dietary Intake of Toxic Heavy Metals with Major Groups of Food

- Products-Results of Analytical Determinations. *Nutrients*, 14, 1626. <https://doi.org/10.3390/nu14081626>.
- Kroukamp, E.M., Wondimu, T., and Forbes, P.B.C. (2016). Metal and metalloid speciation in plants: overview, instrumentation, approaches and commonly assessed elements. *Trends in Analytical Chemistry*, 77 (2016) 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.10.007>.
- Kumar, V., Parihar, R.D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., Gyasi-Agyei, Y., and Rodrigo-Comino, J. (2019). Global Evaluation of Heavy Metal Content in Surface Water Bodies: A Meta-Analysis Using Heavy Metal Pollution Indices and Multivariate Statistical Analyses. *Chemosphere*, 236, 124364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>.
- Lagalante, A.F. (2007). Atomic Absorption Spectroscopy: A Tutorial Review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 34:3, 173-189, DOI: 10.1081/ASR-100100844.
- Lawal, N.S., Agbo, O., and Usman, A. (2017). Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil, Irrigation Water and Vegetables Grown around Kubanni River, Nigeria. *Journal of Physical Science*, 28(1), 49–59, 201. <https://doi.org/10.21315/jps2017.28.1.4>.
- Maharani, E. P., Briliana, H., Putri, E. H., Faraditta, F. S., and Az-zhaffirah, A. R. (2024). A comprehensive review on atomic absorption spectroscopy: Principles, techniques, and applications. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 20–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13764070>.
- Mielcarek, K., Nowakowski, P., Pu'scion-Jakubik, A., Gromkowska-Kępcza, K.J., Soroczyńska, J., Markiewicz-Zukowska, R., Naliwajko, S.K., Grabia, M., Bielecka, J., Zmudzińska, A., Moskva, J., Karpinska, E., and Socha, K. (2022). Arsenic, Cadmium, Lead and Mercury Content and Health Risk Assessment of Consuming Freshwater Fish with Elements of Chemometric Analysis. *Food Chemistry*, 379, 132167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132167>.
- Mketo, N., Nomngongo, P. N., and Ngila, J. C. (2016). An overview of analytical methods for quantitative determination of multi-element in coal samples. *Trends in Analytical Chemistry*, 85, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.07.008>.

- Moffat, I., Martinova, N., Seidel, C., and Thompson, C.M. (2018). Hexavalent Chromium in Drinking Water. *Journal of AWWA*, 110, E22–E35. <https://doi.org/10.1002/awwa.1044>.
- Mondal, D., Rahman, M.M., Suman, S., Sharma, P. Siddique, A.B., Rahman, M.A., Bari, A.S.M.F., Kumar, R., Bose, N., Singh, S.K., Ghosh, A., and Polya, D.A. (2021). Arsenic Exposure from Food Exceeds That from Drinking Water in Endemic Area of Bihar, India. *Science of Total Environment*, 754, 142082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142082>.
- Mustatea, G., & Ungureanu, E. L. (2024). Assessing the presence and health risks of potentially toxic metals in food: A comprehensive overview. *Exploration of Foods and Foodomics*, 2(5), 471–496. <https://doi.org/10.37349/eff.2024.00047>
- Navarathna, C., Pathiratne, S., de Silva, D.S.M., Rinklebe, J., Mohan, D. and Mlsna, T. (2021). Intrusion of Heavy Metals/Metalloids into Rice (*Oryza sativa* L.) in Relation to Their Status in Two Different Agricultural Management Systems in Sri Lanka. *Ground water for Sustainable Development*, 14, 100619. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100619>.
- Ngoc, N.T.M., Chuyen, N.V., Thao, N.T.T., Duc, N.Q., Trang, N.T.T., Binh, N.T.T., Sa, H.C., Tran, N.B., Ba, N.V., Khai, N.V., Son, H.A., Han, P.V., Wattenberg, E.V., Nakamura, H., and Thuc, P.V. (2020). Chromium, Cadmium, Lead, and Arsenic Concentrations in Water, Vegetables, and Seafood Consumed in a Coastal Area in Northern Vietnam. *Environmental Health Insights*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1177/1178630220921410>.
- Paudel, S., Kumar, S., & Mallik, A. (2021). Atomic absorption spectroscopy: A short review. *EPRA International Journal of Research & Development*, 6(9), 322–327. <https://doi.org/10.36713/epra2016i>
- Pinto, E., Almeida, A., and Ferreira, I.M.P.L.V.O. (2016). Essential and Non-Essential/Toxic Elements in Rice Available in the Portuguese and Spanish Markets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 48, 81–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.008>.
- Raji Z, Karim A, Karam A, and Khalloufi S. A (2023). Review on the heavy metal adsorption capacity of dietary fibers derived from agro-based wastes: Opportunities and challenges for practical applications in the

- food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 137, 74–91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.004>.
- Singh, M., Sharma, R., Ranvir, S., Gandhi, K., and Mann, B. (2019). Assessment of Contamination of Milk and Milk Products with Heavy Metals. *Indian Journal of Dairy Science*, 72, 608–615. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2019.v72i06.005>.
- Širić, I., Eid, E.M., El-Morsy, M.H.E., Osman, H.E.M., Adelodun, B., Abou Fayssal, S., Mioć, B., Goala, M., Singh, J., Bachheti, A. (2022). Health Risk Assessment of Hazardous Heavy Metals in Two Varieties of Mango Fruit (*Mangifera indica* L. Var. Dasher and Langra). *Horticulturae*, 8, 832. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090832>.
- Sujka, M., Pankiewicz, U., Kowalski, R., Mazurek, A., Slepecka, K., and Góral, M. (2019). Determination of the Content of Pb, Cd, Cu, Zn in Dairy Products from Various Regions of Poland. *Open Chemistry*, 17, 694–702.
- TatahMentan, M., Nyachoti, S., Scott, L., Phan, N., Okwori, F.O., Felemban, N., and Godebo, T.R. (2020). Toxic and Essential Elements in Rice and Other Grains from the United States and Other Countries. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 17, 8128. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17218128>.
- Wang, B., Liu, Y., Wang, H., Cui, L., Zhang, Z., Guo, J., Liu, S., and Cui, W. (2020). Contamination and Health Risk Assessment of Lead, Arsenic, Cadmium, and Aluminum from a Total Diet Study of Jilin Province, China. *Food Science and Nutrition*, 8, 5631–5640. DOI: 10.1002/fsn3.1851.
- Wiech, M., Frantzen, S., Duinker, A., Rasinger, J.D., and Maage, A. (2020). Cadmium in Brown Crab Cancer Pagurus. Effects of Location, Season, Cooking and Multiple Physiological Factors and Consequences for Food Safety. *Science of the Total Environment*, 703, 134922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134922>.
- WRC, (2015). Understanding the Significance of Chromium in Drinking Water. In Drinking Water Inspectorate; WRC plc: Wiltshire, UK.
- Varol, M., Kaya, G.K., and Sünbül, M.R. (2019). Evaluation of Health Risks from Exposure to Arsenic and Heavy Metals through Consumption of Ten

- Fish Species. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 33311–33320. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06450-x>.
- Yu, W. (2022). Instrumentation of atomic absorption spectrophotometry and its applications. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 11(5), 3–4.
- Zhong, T., Xue, D., Zhao, L., and Zhang, X. (2018). Concentration of Heavy Metals in Vegetables and Potential Health Risk Assessment in China. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 313–322. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9909-6>.

BÖLÜM 5

FERMENTE GIDALARIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Vet. Hek. Mehmet Ali BOZKURT¹

Prof. Dr. Erhan KEYVAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17870703>

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Burdur Türkiye, bozkurtmehmeta@gmail.com , ORCID ID:0000-0003-3923-857X

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Burdur Türkiye, erhankeyvan@gmail.com, ORCID ID:0000-0002-2981-437X

1. FERMANTASYON

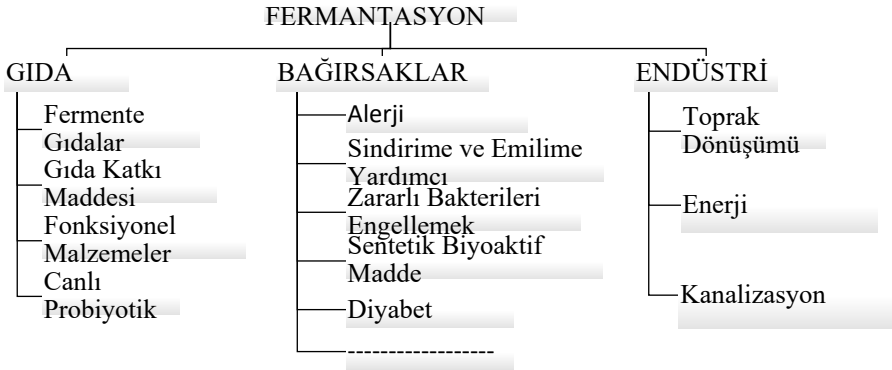
Fermantasyon genellikle aerobik ve anaerobik mikroorganizmalar tarafından substratların, kontrollü mikrobiyal büyüme ve enzimatik dönüşüm yoluyla gıda, içecek ve diğer yararlı metabolitlere dönüşümü olarak tanımlanmaktadır (Feng ve ark., 2018). Fermantasyon, gıdaları korumak için ilk biyoteknolojik yöntem olarak da bilinmektedir. (Erkmen ve Bozoglu 2016; Sun ve ark., 2022). Fermantasyon ile ilgili en eski kayıtlar milattan önce (M.Ö.) 6.000 yılına kadar dayanmaktadır. (Feng ve ark., 2018; Fox ve ark., 2004). Ancak bazı araştırmacılar bu kayıtların M.Ö. 13.000 yılına kadar dayandığını savunmaktadırlar. O dönemde yaşayan insanlar, fermantasyon ve fermantasyonu gerçekleştiren mikroorganizmalar hakkında bilgi sahibi olmamalarına rağmen fermantasyonun temel ilkelerini sözlü olarak birbirlerine aktarmışlardır. O dönemlerde fermantasyonun, gıdalarda otokton mikroorganizmalar tarafından oda sıcaklığında fermente edilerek dayanıklılığı artırdığı belirtilmektedir (Salas-Millan ve ark., 2022; Sun ve ark., 2022). Fermantasyon çeşitli hayvansal ürünleri ve bitkisel gıdaları korumak için kullanılmıştır. Alkollü içecek ve fermente gıdalar üretmek için kullanılan gıda hammaddeleri kültürel, sosyal, dini ve ekonomik değişkenlerden etkilenmiştir. Ortadoğu, Avrupa ve Hindistan bölgelerinde peynir ve süt ürünleri geliştirilmiştir. Japonya, Kore ve Çin gibi doğu ülkelerinde hayvancılık sınırlı olduğu için pirinç gibi tahıllara, sebzelere, balıklara ve soya fasulyesine dayalı ürünler geliştirilmiştir. Afrika'da ise darı, sorgum, mısır ve buğday gibi yerel tahıl taneleri fermantasyon için kullanılmıştır (Siddiqui ve ark., 2023; Tamang ve ark., 2020). 19. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, gıda fermantasyonun gerçekleştirilme biçimi ve sürecini anlamamız için çok önemli iki olay meydana gelmiştir. Bu olaylardan birincisi sanayi devrimidir. Sanayi devrimi, büyük nüfus kitlelerinin kasaba ve şehirlerde yoğunlaşmasına yol açmıştır. Bu durum, yerel topluluklar içerisinde fermente gıdaları tedarik etmenin artık geleneksel yöntemlerle sağlanamayacağı anlamına gelmiştir. Yeni pazarlara hizmet verebilme ve ürünlerin büyük miktarlarda üretilmesi için üretim sürecinin endüstriyellemesi zorunlu hale gelmiştir. Bu olayların ikincisi ise 1850'lerden itibaren mikrobiyolojinin bir bilim olarak gelişmesidir. 19. yüzyılın sonlarına doğru gelindiğinde, fermantasyondan sorumlu mikroorganizmaların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu gelişme ile birlikte fermente gıdaların üretiminde bakteri, maya ve küflerin önemli rolü olduğu anlaşılmıştır. Bu

sayede fermente gıdaları üreten fabrikalar için büyük ölçekte üretilen “başlatıcı kültür”lerin izole edilmesi sağlanmıştır. Bu önemli gelişme, fermantasyon süreçlerini etkileyerek ürünün tutarlılığının ve fermantasyonun güvenilirliğinin artmasına katkı sağlamıştır (Caplice ve Fitzgerald 1999).

Fermantasyon yöntemi Şekil 1’de bahsedildiği gibi; ilaç üretimi (Pettit 2009), petrol gibi yakıt üretimi (Anbarasan ve ark., 2012), yem, gıda ve endüstriyel kimyasalların üretilmesi için kullanılmaktadır (Pandey 2003). Fermantasyon, biyokütle hammaddesinden katı hal fermantasyonu (SSF), batık fermantasyon (SmF) veya anaerobik sindirim gibi çeşitli teknikler aracılığıyla besinleri biyolojik bir ekstraksiyon süreciyle geri kazanmak, katma değerli ürünler ve “yeşil” enerji yaratmak için en umut vaat eden yaklaşımlardan biridir (Carmona-Cabello ve ark., 2018; Ramirez ve ark., 2023).

1.1. Katı Hal Fermantasyonu

Katı hal fermantasyonu (SSF), mikroorganizmaların üreyebilmesi için yeterli nemin bulunduğu ancak serbest suyun olmadığı ya da serbest suyun çok az olduğu durumlarda gerçekleşen fermantasyon tipine denir (Pandey 2003). SSF’de kullanılan mikroorganizmalar filamentli mantarlar, mayalar ve bakterilerdir (Selo ve ark., 2021). Katı hal fermantasyonu katı, sıvı ve gaz fazlarından oluşan üç fazlı heterojen bir işlemdir. Katı hal fermantasyonu bazı avantajlara sahiptir. Bu yöntemin avantajları arasında; ürün veriminin yüksek olması, düşük enerji gereksinimi, atık su miktarının düşük olması, çoğunlukla substrat (karbon) kaynağı olarak katı tarımsal-endüstriyel atıkların kullanılması nedeniyle çevre dostu olması (Thomas ve ark., 2013) ve nem oranının düşmesiyle kontaminasyon riskinin azalması (Ghadi ve ark., 2011; Nambi ve ark., 2017), yüksek hacimlerde ürün üretilmesi, ürünlerin stabilitesinin yüksek olması, katabolik baskılanmanın bulunmaması, yüksek substrat konsantrasyonlarına tolerans, fermantasyon sürecinin kontrol gerektirmemesi, doğal kompleks maddelerin etkisiz bir ortam sağlaması sayılabilir. Buna karşın; ısı üretimi, O₂, CO₂ ve nem içeriğinin ayrıntılı takip edilememesi, orta düzeyde nem seviyelerini tolere edebilen mikroorganizmaların kullanılabilmesi ve bu mikroorganizmaların büyümelerinin yavaş olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Sun ve ark., 2022).



Şekil 1. Fermentasyon ve insan yaşamı arasındaki ilişki (Feng ve ark., 2018).

Katı hal fermentasyonu, yukarı akış, orta akış ve aşağı akış aşamalarıyla karakterize edilen bir süreçtir (Ashok ve ark., 2017; Mitchell ve ark., 2011; Yafetto 2022). Bu süreç; Yukarı akış süreci, substratların ve büyüme ortamlarının hazırlanması ile fermentasyon için kullanılan mikroorganizmaların izole edilmesini kapsayan yukarı akış süreci, substratın eklenip ve fermente edildiği orta akış süreci ve elde edilen son ürünlerin paketlenme için işlendiği aşağı akış sürecinden oluşmaktadır (Yafetto, 2022). Katı hal fermentasyonunda yer alan adımlar endüstride yaygın olarak kullanılmasına rağmen, son istenen ürünü elde etme yöntemlerinde küçük farklılıklar bulunmaktadır (Nambi ve ark., 2017; Yafetto ve ark., 2019; Yafetto 2022).

Katı hal fermentasyonu (SSF), biyoremediasyon ve tehlikeli bileşiklerin biyolojik parçalanması, tarımsal-endüstriyel kalıntıların biyolojik detoksifikasyonu, besin zenginleştirme amacıyla mahsul ve mahsul kalıntılarının biyotransformasyonu, biyolojik hamurlaştırma ile antibiyotikler, alkaloidler, bitki büyüme faktörleri, enzimler, organik asitler, biyopestisitler gibi biyolojik olarak aktif ikincil metabolitler de dahil olmak üzere katma değerli ürünlerin üretimi gibi biyoproseslerin geliştirilmesi amacıyla SSF'nin uygulanmasına odaklanmıştır (Pandey A, 2003). Katı hal fermentasyonu gıda sektöründe kimchi, miso ve tempeh gibi birçok gıda ürününün üretiminde kullanılmaktadır (Voidarou ve ark., 2020).

1.2. Batık Fermantasyonu

Batık fermantasyonu, fazla suyun varlığında gerçekleşen fermantasyon olarak tanımlanmaktadır (Chen ve ark., 2021; Gao ve ark., 2021; Sun ve ark., 2022; Taiwo ve ark., 2022; Yu ve ark., 2022). Bu fermantasyon; yoğurt ve diğer süt bazlı içeceklerin, alkollü içeceklerin ve sirke gibi gıda çeşnilerinin üretiminde kullanılmaktadır (Voidarou ve ark., 2020). Batık fermantasyonundaki mikroorganizmalar, büyümeleri ve metabolik aktiviteleri için gerekli olan besinleri ham maddeden elde ederek sıvı bir ortamda gelişimini sağlamaktadır. Bu süreç, pH ve sıcaklık gibi mikrobiyal büyüme için ilgili parametrelerin çok yüksek verimlilikle izlenmesine olanak tanımaktadır (Ramires ve ark.,2023).

2. GIDA ENDÜSTRİSİNDE FERMANTASYON

Fermente gıdalar artık temel beslenmemizin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Fermente gıdaların çoğunda, fermantasyon süreçlerinin biyolojik ve mikrobiyolojik temelleri yeterince anlaşılmamıştır. Mevcut sınırlı bilgiler genellikle bitmiş ürünlerdeki birincil mikrofloranın tanımlanması ve ön karakterizasyonuna odaklanmıştır (Caplice ve Fitzgerald 1999). Bazı fermente ürünler Tablo 1’de; gıdalarda kullanılan fermantasyon tipleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Gıdaların fermente edilmesinin belirli amaçları vardır. Bu amaçlar arasında;

- Gıdaların tekstür, lezzet ve aroma özelliklerinin gelişmesinde aktif rol oynaması,
- Gıdaların su aktivitelerinin azaltılmasıyla (kurutma veya tuz kullanılmasıyla), organik asit (laktik asit, asetik asit, formik asit, propiyonik asit), etanol, bakteriyosinler vb. gibi inhibitör metabolitlerin oluşumu yoluyla gıdaların korunması (Bourdichon ve ark., 2012; Gaggia ve ark., 2011; Ross ve ark., 2002),
- Patojenlerin ve toksik maddelerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olması,
- Gıdaların sindirilebilirliğinin artırılması,
- Yeni pazarlar için yeni ürünlerin geliştirilmesi,

- Gıdaların besin değerlerinin artırılması (Chaves-López, C ve ark., 2020; Rezac ve ark., 2018; Sivamaruthi ve ark., 2018; Voidarou ve ark., 2020),
- Batı Afrika yiyecekleri, örneğin ogi (fermente mısırdan hazırlanır) ve soya fasulyesi ürünleri gibi gıdaların pişirme süresini azaltılması yer almaktadır.

Fermente ürünler daha yüksek in vitro antioksidan kapasitesine sahiptir. Örneğin fermente süt ürünleri, özellikle α -kazein, α -laktalbumin ve β -laktoglobulin gibi süt proteinlerinin proteolizini takip eden biyopeptitlerin salınması nedeniyle taze süte kıyasla daha yüksek antioksidan özelliklere sahiptir (Sharma ve ark., 2020).

Gıda fermentasyonu iki temel yöntem ile yapılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, fermentasyon işleminin gıda malzemelerinin veya gıda işleme ortamının doğal mikroflorası tarafından gerçekleştirilmesidir. Örnek olarak lahana turşusu ve kimchi gibi gıdalar verilebilir. İkinci yöntem ise ‘kültüre bağlı fermentasyon’ olarak adlandırılan starter kültürün eklenmesiyle yapılan fermentasyondur. Bu tip fermentasyona kefir, yoğurt, kombucha ve natto örnek olarak gösterilebilir (Voidarou ve ark., 2020).

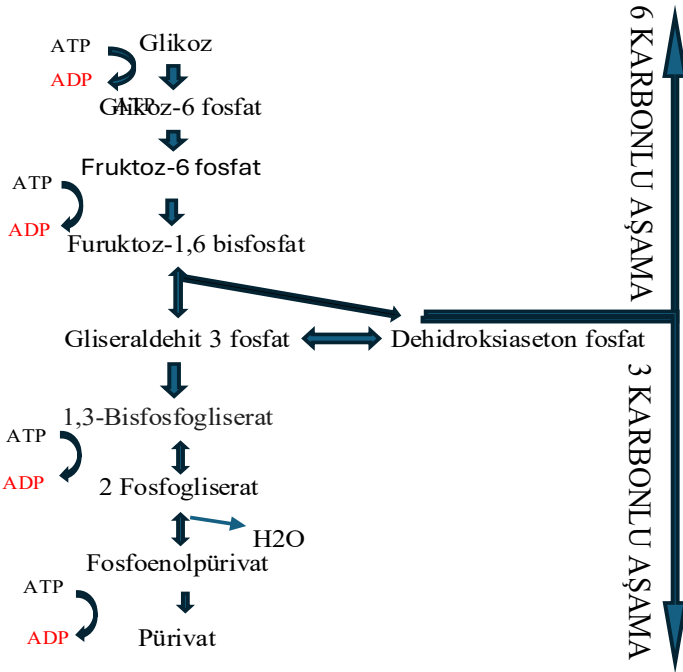
2.1. Fermentasyonun Kimyasal Mekanizması

Gıdalarda fermentasyon işlemi sırasında bir dizi kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu kimyasal reaksiyonlar, katabolizma ile bir gıdanın parçalanıp adenozin trifosfat (ATP) formunda enerji elde edilmesi ve bu enerji ile indirgeyici güç (genellikle NADH formunda üretilir ancak NADPH olarak kullanılır) üretilerek hücresel bileşenlerin üretildiği reaksiyonları (anabolizma) desteklemesiyle gerçekleşen metabolik olaylar olarak tanımlanabilir (Bamforth ve Cook 2019). Karbonhidratlar mikroorganizmalar tarafından en çok tercih edilen enerji kaynağıdır. Fakat mikroorganizmalar bütün karbonhidratları parçalayamazlar. Karbonhidratların daha küçük moleküllere parçalanmaları gerekmektedir. Monosakkaritler; aerobik, anaerobik, fakültatif anaerobik veya aerotolerant bakteriler tarafından birkaç yol ile çeşitli ara ve son ürünlere parçalanırlar. Gıdalardaki bulunan önemli mikroorganizmaların tümü glikozu fermente edebilse de fruktoz ve galaktoz gibi monosakkaritleri kullanma kapasiteleri farklılık göstermektedir. Glikoz 3 ana yolu izleyerek parçalanmaktadır. Bu yollar; Embden-Meyer-Parnas (EMP), hekzoz

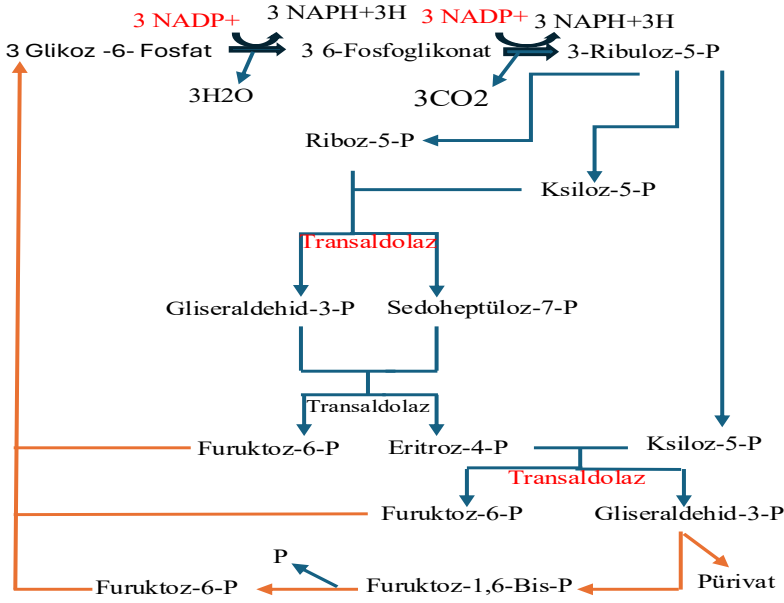
monofosfat (HMP) ve Enter-Doudroff (ED)’dur. Bu yollar sonucunda pirüvik asit oluşmaktadır. Bu bileşik fermentasyon, anaerobik solunum ve aerobik solunum yoluyla farklı bileşiklere dönüştürülür (Erkmen ve ark., 2020). EMP yolu, Pentozfosfat yolu, Entner –Doudoroff (ED) yolu ve Fosfoketolaz yolu sırasıyla Şekil 2-5 ‘te gösterilmiştir.

Tablo 1. Bazı fermente ürünler (Marco ve ark., 2021).

Fermente edilmiş ve canlı fermente mikroorganizmaları barındıran gıdalar	Fermente edilmiş ancak fermentasyon mikroorganizmaları öldürülmüş ürünler	Fermente olmayan ürünler
Yoğurt	Ekmek	Kimyasal olarak mayalanmış ekmek
Kefir	Isıl işlem görmüş ya da pastörize edilmiş sebzeler, sosis, sirke ve bazı kambuça	Taze sosis
Birçok peynir	Sirke (ısıl işlem görmüş)	Tuzlu su veya sirkede turşu yapılmış sebzeler
Miso	Şarap, çoğu bira ve distile içkiler	Kimyasal olarak üretilmiş soya sosu
Natto	Kahve ve çikolata çekirdekleri (kavrulmuş)	Tuzlanmış veya kürlenme ile işlenmiş etler ve balıklar
Tempeh		
Bazı biralar		
Isıl işlem görmemiş fermente sebzeler		
Isıl işlem görmemiş salam, pepperoni ve diğer fermente sucuklar		



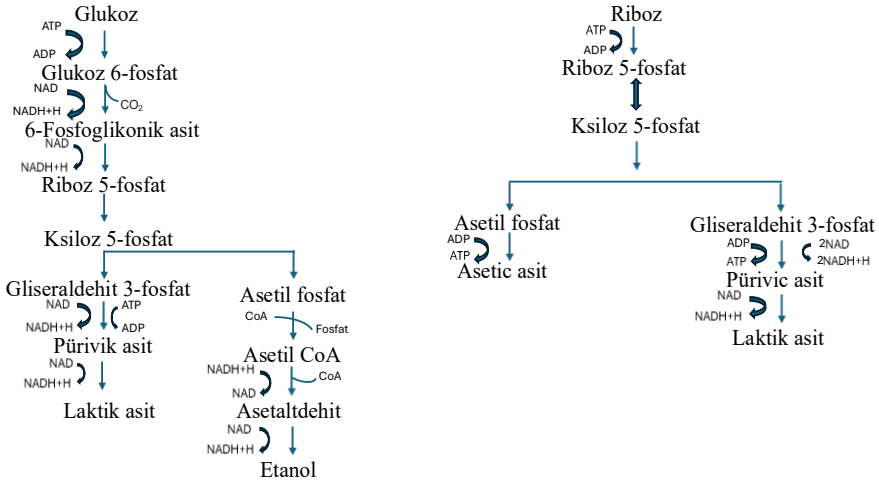
Şekil 2. EMP yolunun şekilsel gösterimi (Schaechter, 2009).



Şekil 3. Pentozfosfat yolu (Richards ve ark., 2016).



Şekil 4. Entner –Doudoroff (ED) yolu (Bellini ve ark., 2022).



Şekil 5. Fosfoketolaz yolu (Bamforth, 2015).

Tablo 2. Gıdalarda kullanılan fermentasyon tipleri (Voidarou ve ark., 2020).

Fermentasyon Tipi	Kullanılan Mikroorga nizma	Yiyecek ve Çevre	Son Ürün
Alkol Fermentasyon	Mayalar	Şarap, bira, ekşi maya	$2 \text{ glikoz} \rightarrow 2 \text{ gliserol} + \text{asetik asit} + \text{etanol}$
Laktik Asit Fermentasyonu (Homofermentasyon)	Laktik asit bakterileri (<i>Lactobacillus</i> spp. vb.)	Süt ürünleri, fermente etler, fermente sebzeler vb.	$\text{Glikoz} \rightarrow 2 \text{ laktik asit} + \text{IATP}$ (Embden-Meyerhof-Parnas)
Laktik Asit Fermentasyonu (heterofermentasyon)	Laktik asit bakterileri (<i>Lactobacillus</i> spp. vb.)	Süt ürünleri, fermente etler, fermente sebzeler vb.	$5 \text{ ve } 6 \text{ karbonlu şekerler} \rightarrow \text{laktik asit} + \text{asetik asit} + \text{etanol} + \text{IATP}$
Bütirik asit Fermentasyonu	<i>Clostridium</i> türleri, <i>Butyrivibrio</i> türleri, <i>Bacillus</i> türleri ve diğer anaeroblar	Bataklık tortuları, kanalizasyon sistemleri	$4 \text{ glikoz} \rightarrow 2 \text{ asetat} + 3 \text{ bütirat} \rightarrow \text{bütirik asit, bütanol, asetoin, izopropanol, asetat, etanol, 2,3-bütadienol}$
Karışık Fermentasyon	Enterobacteriaceae (<i>Escherichia</i> türleri, <i>Enterobacter</i> türleri, <i>Salmonella</i> türleri, <i>Klebsiella</i> türleri, <i>Shigella</i> türleri vb.)	İnsan ve hayvan sindirim sistemi, tatlı su	$\text{Glikoz} \rightarrow \text{asetik asit, formik asit, laktik asit, süksinik asit, etanol}$
Propiyonik Asit Fermentasyonu	<i>Propionebacterium</i> türleri, <i>Veilonella</i> türleri, <i>Bacteroides</i> türleri, Bazı <i>Clostridia</i> türleri	Süt ürünleri	$\text{Glikoz, gliserol, laktat} \rightarrow \text{propionat, asetat,}$
Asetik asit Fermentasyonu	<i>Acetobacter</i> türleri, <i>Gluconobacter</i> türleri, <i>Bacillus subtilis</i>	Asetik asit endüstrisi	$\text{Şekerlerin, şeker alkollerinin, etanolün oksidasyonu} \rightarrow \text{asetik asit}$

Mayalar alkol fermantasyonunu gerçekleştirmek için EMP yolunu izlemektedirler. Bu yolla, şeker 2-3 karbonlu parçaya ayrılıp kimyasal tepkimelere açık hale getirilerek fosforilasyon süreci gerçekleştirilir. Bu fosforilasyon sonucunda fosfat, gliseraldehid 3 -fosfat ve dihidroksiasetona dönüştürülüp bir denge sağlanır. Gliseraldehid 3-fosfat miktarı azaldıkça bu denge bozulur ve dihidroksiaseton fosfat, gliseraldehid 3-fosfat' a dönüştürülür. Dolayısıyla fruktoz bifosfat iki eşdeğer üniteye ayrılmaktadır. (Bamforth ve Cook 2019). Kükürt, hem organik hem de inorganik şekilde sağlanabilir. Örneğin bira mayası sülfatı metabolize edebilir ve aynı zamanda kükürt içeren aminoasitleri de kullanabilir. Hücrelerdeki büyük yapılar ve işlevsel moleküller polimerik yapıya sahiptir. Bunlar;

Polisakkaridler: mayalarda glikojen gibi depolama ürünleri, hücre duvarının yapısal bileşenleri örneğin mayalardaki mannanlar ve gluklanlar ve bakterilerin hücre duvarındaki kompleks polisakkaridler

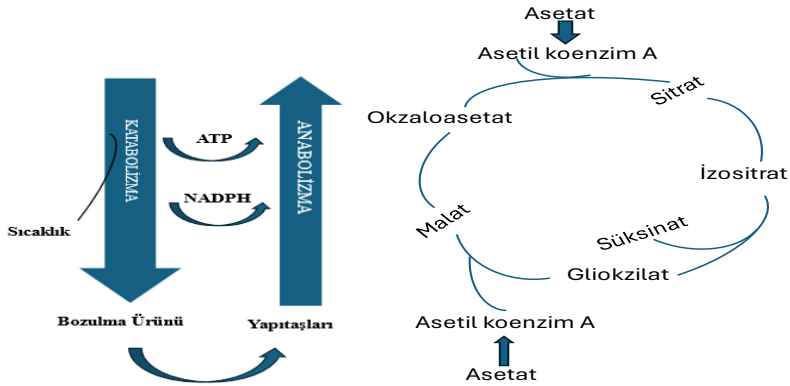
Proteinler: Özellikle enzimler ve permeazlar

Lipitler: Özellikle membranın merkezindeki bileşenler

Nükleik asitler: DNA ve RNA'dır.

Anabolik reaksiyonların basitleştirilmiş hali Şekil 6'da verilmiştir.

Özet olarak anabolik reaksiyonların merkezinde pruvat metabolizması yer almaktadır. Biyosentetik ihtiyaçları karşılamak için trikarboksilik asit döngüsü kullanılmaktadır. Kısacası asetil CoA kalıntısını toplamak ve gereken oksaloasetat gibi ara maddeleri yeniden oluşturmak için anaplerotik yollara sahiptir. Bu yolun en iyi bilineni glioksilat döngüsüdür (Bamforth ve Cook 2019).



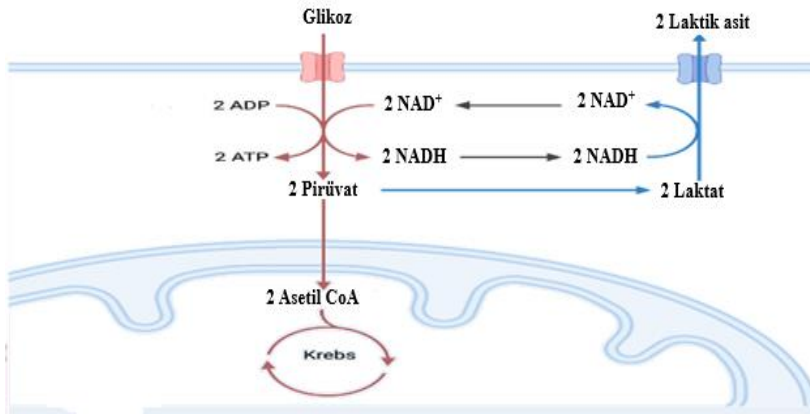
Şekil 6. Fermentasyon bakterilerindeki metabolik olaylar ve oksaloasetat gibi ara maddeleri yeniden oluşturmak için glioksilat döngüsü (Bamforth ve Cook 2019).

2.1.1. Laktik Asit Fermantasyonu

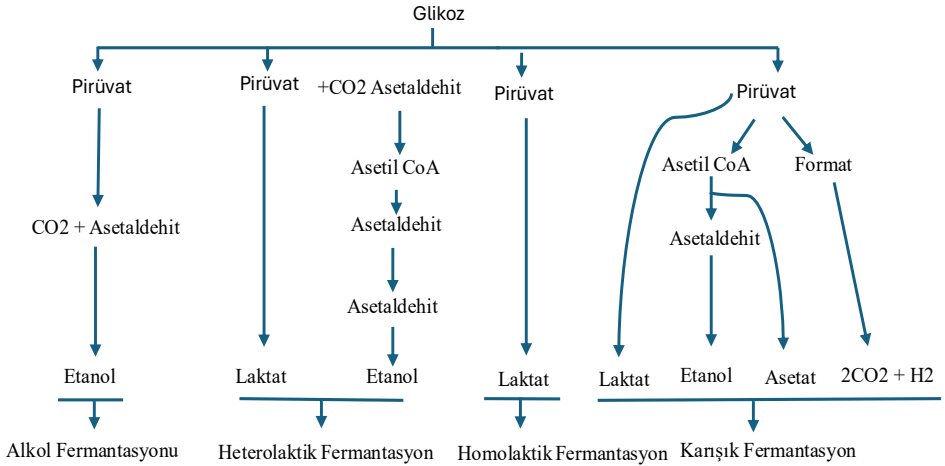
Laktik asit bakterileri, kok, spor oluşturmeyen çubuk şeklindeki Gram pozitif bakterilerdir. Bu grupta bulunan bakterilerin asidik koşullara dirençli, aerotolarans ve hareketsiz gibi özelliklerinin yanı sıra en ayırt edici özelliği ise karbonhidrat fermentasyonu sonucunda birincil ürününün laktik asit olmasıdır (Aguirre-Garcia ve ark., 2024; Mora-Villalobos ve ark., 2020). Laktik asit bakterileri krebs çemberi ve elektron taşıma zincirlerine sahip değildirler (Erkmen ve ark., 2020). Laktik asit fermentasyonu, diğer yöntemlerle üretilemeyen gıdaları üretmek için uygulanmakta olup laktik asit fermentasyon bakterilerinin ticari açıdan en önemli cinsi *Lactobacillus*'tur (Gómez-Gómez ve ark., 2015; Sun ve ark., 2022). Bu bakteriler enerjilerini fosforilasyon yoluyla homofermantatif, heterofermantatif veya her iki şekilde de elde etmektedirler. Laktik asit bakterilerinin homofermantatif veya heterofermantatif yolu izlemesi, sahip oldukları enzimlerle ilişkilidir. EMP yolunu izleyen bakteriler, fruktoz-1,6-difosfat aldolaz ve triyoz fosfat izomeraz enzimlerine sahiptir. Pentoz monofosfat yolunu izleyen laktik asit bakterileri ise glikoz-6-fosfat dehidrogenaz, 6-fosfoglukonat dehidrogenaz ve fosfoketolaz (PK) enzimlerini bulundurlurlar. Her iki metabolik yol için gerekli enzimlere sahip olan bakteriler EMP yolunu tercih ederler (Erkmen ve ark., 2020).

Homofermantatif şekilde elde eden bakteriler heksozları parçalama yeteneğine sahiptirler (Capra ML., 2023; Aguirre-Garcia ve ark., 2024). Laktik asit fermentasyonunun başlangıç aşaması EMP yani glikolizdir. Şekeri, EMP

yoluyla pirüvata fermente eder ve bu da laktat dehidrogenaz (LDH) tarafından laktik aside dönüştürülür. İki tip L ve D laktat izomeri, stereospesifik nikotinamid adenin dinükleotid (NAD)'e bağımlı enzimlerdir. L-LDH ve D-LDH tarafından üretilir. Karbon sınırlaması gibi belirli büyüme koşulları altında, homolaktik metabolizma, format, asetat, etanol ve/veya CO₂ üretimini içeren karışık asit metabolizmasına geçiş gösterebilmektedir (Carballero ve ark., 2016). Bu gruba örnek suş olarak *Lactobacillus plantarum* ve *Pediococcus pentosaceus* verilebilir. (Aguirre-Garcia ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2021). Heterofermantatif bakteriler ise hem heksozları hem de pentozları parçalama yeteneklerine sahiptir. *Limosilactobacillus fermentum*, *Lentilactobacillus buchneri*, *Lentilactobacillus parabuchneri* ve *Levilactobacillus brevis* zorunlu heterofermantatif laktik asit bakterileridir. (Aguirre-Garcia ve ark., 2024; Capra ML., 2023). Heterofermantatif laktik asit bakterileri PK yolunu tercih ederler ve birincil ürünün yanında etil alkol, asetik asit, diasetil ve karbondioksit gibi ikincil ürünler de elde ederler. PK yolu, heksoz monofosfat yolunun bir varyasyonudur. (Erkmen ve ark., 2020). Laktik asit bakterileri (LAB), fermentasyon süreçleri sırasında bakteriyosin, lipoteyikoyik asit, laktik asit üretmektedirler. Fermentasyon sırasında laktik asit bakterileri tarafından üretilen organik asitler, bakteriyosinler, vitaminler ve serbest amino asitler, hem mikrobiyal ve fungal hücre zarlarına nüfuz edebilir hem de bu mikroorganizmaların sitoplazmasında birikerek LAB'ye antimikrobiyal özellikler kazandırabilir. Ayrıca, spesifik metabolitler de serbest radikallerin oluşumunu sınırlamada rol oynamaktadır. Bu da gıdalarda antioksidan aktiviteler sağlamaktadır (Aguirre-Garcia ve ark., 2024; Khubber S ve ark., 2022). Laktik asit fermentasyonu ve fermentasyonlar ve son ürünleri sırasıyla Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Laktik asit fermentasyonu (Biorender)

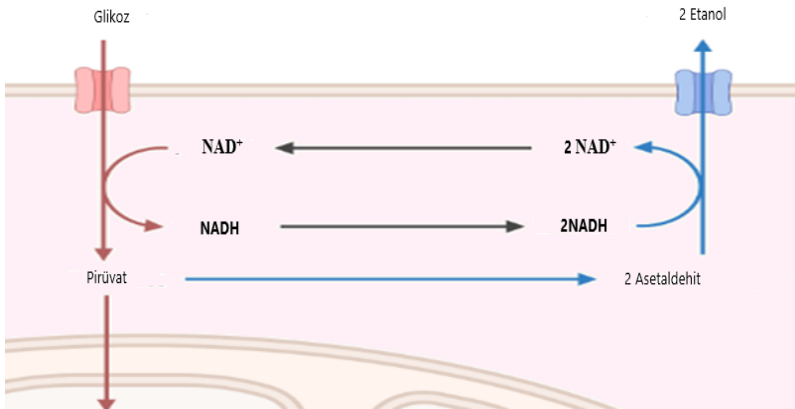
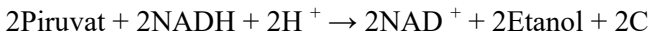


Şekil 8. Fermentasyonlar ve son ürünleri (Bamforth ve Cook 2019).

2.1.2. Alkol Fermentasyonu

Alkol fermentasyon, fermentasyon tekniklerinin en yaygın olarak bilineni olup meyve, sebze ve meyve suları gibi şeker açısından zengin substratlar için dönüşüm, stabilizasyon ve koruma prosedürlerinde yer almaktadır (Sun ve ark., 2022). Endüstriyel fermentasyonlarda farklı şeker kaynakları (maltoz, sakaroz, fruktoz vb.) kullanılabilir (Walker ve Stewart, 2016). Alkol fermentasyonu mayalar, mantarlar ve bazı bakteri tarafından gerçekleştirilmektedir (Sun ve ark., 2022). Alkollü içeceklerin üretiminde en yaygın kullanılan maya türü *Saccharomyces cerevisiae*'dir. *S.*

cerevisiae, ökaryotik hücre yapısına sahip tek hücreli bir mantar olup glikoz, fruktoz, maltoz gibi çeşitli şekerleri etanol ve karbondioksit'e fermente edebilmektedir. Bu türün farklı suşları içeceklerin lezzet ve aromasını etkilemektedir. Büyük ölçekli üretimlerde genellikle seçilmiş saf suşlar tercih edilmektedir. Şekerlerin glikoliz yoluyla pirüvik aside dönüşümü ve ardından etanol üretimi temel süreçtir. Bu maya hem anaerobik koşullarda fermantasyon hem de enerji üretimi uygun bir türdür. (Walker ve Stewart, 2016). Alkol fermantasyonu Şekil 9'da verilmiştir.

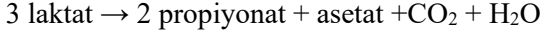


Şekil 9. Alkol fermantasyonu (Biorender).

2.1.3. Propiyonik Asit Fermantasyonu

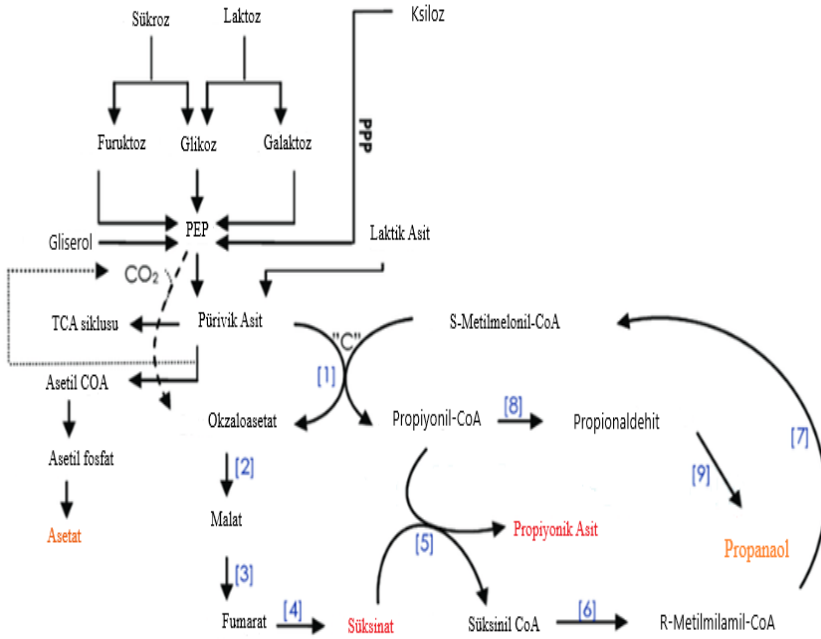
Freudenreich ve Orla-Jensen 1906 yılında, propiyonik asit üretebilen bakterileri (PAB) izole etmiş ve bu türler için 1909'da Orla-Jensen tarafından *Propionibacterium* sınıfı önerilmiştir. *Propionibacterium* bakterileri, pleomorfik çubuk şekilli, mikroaerofilik veya anaerobik, Gram (+) ve yüksek G+C içeriğine (%53-67) sahip mezofilik mikroorganizmalardır. Optimum gelişme sıcaklıkları 25-32°C olup pH aralıkları ise 6,0-7,5'tir. Propiyonik asit bakterilerinin en temel özelliği laktik asitten, propiyonik asit ve asetik asit üretebilmeleridir. Bu bakteriler, laktik asitten propiyonik ve asetik asit üreterek İsviçre tipi peynirlerin olgunlaşmasında tat, tekstür ve gözenek oluşumuna neden olmaktadır. (Özer ve Kesenkaş, 2012). Farklı karbon kaynaklarından

propiyonik asit üretmek için propiyonik asit fermantasyon yolu Şekil 10'da gösterilmiştir.



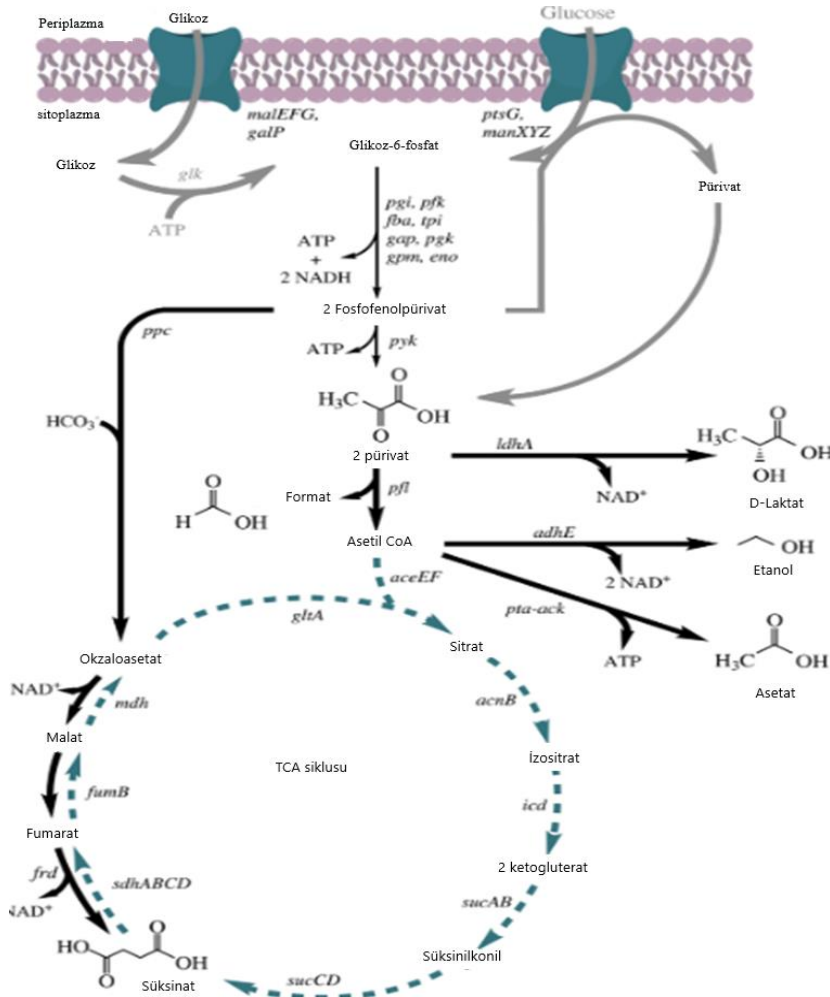
2.1.4. Karışık Fermantasyon

Karışık fermantasyon, *Enterobacteriaceae* familyasına ait mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu grupta bulunan bakteriler Gram negatif, çubuk, sporsuz, aerobik veya fakültatif anaerobik, genellikle hareketli, katalaz pozitif ve oksidaz negatif özelliklere sahiptirler (Erkmen ve ark., 2020). *Escherichia coli* üzerine yapılan birçok çalışmada şekerlerin elektron ve karbon kaynağı olarak kullanıldığını bildirilmektedir.



Şekil 10. Farklı karbon kaynaklarından propiyonik asit üretmek için propiyonik asit fermantasyon yolu. Wood Werkman Döngüsünü farklı ara maddeleri ve metabolik son ürünleri göstermektedir. 1-Metilmelonil-CoA transkarboksilaz (pirüvat karboksiltransfosforilaz), 2- Malat dehidrogenaz, 3- Fumeraz, 4- Süksinat dehidrogenaz, 5- Probionil-CoA:Süksinat CoA transferaz, 6- Metilmalonil-CoA mutaz(izomeraz), 7- Metilmalonil-CoA rasemaz, 8- Propionaldehit dehidrogenaz (tahmin edilen), 9- Alkol dehidrogenaz (Tahmin edilen) (Dishisha 2013).

Glikoz, fosfotransferaz sistemi ile glikoz-6-fosfata fosforile edilmektedir. Galaktoz ve mannoz sitoplazmada glukokinaz enzimi ile glikoz-6-fosfata dönüşmektedir. Bu fosfarile edilmiş şekerden iki ATP ve iki NADH molekülünün ayrılmasıyla iki pirüvata dönüşür. Oksijen varlığında pirüvat, pirüvat dehidrojenaz enzimi ile asetil-CoA ve karbon dioksit'e dönüştürülmektedir. Oluşan bu asetil-CoA, sitrik asit döngüsüne girerek daha fazla ATP üretimini sağlamaktadır. Oksijen olmadığı veya yetersiz olduğu durumda, sitrik asit döngüsünde ana ürün olarak asetat meydana gelmektedir. Pirüvat dehidrojenaz, NADH salınımını engelleyen ve bunun yerine format ve asetil-CoA oluşumunu sağlayan pirüvat format liyaz ile değiştirilmektedir. Fosfotransasetilaz (pta) ve asetat kinaz (ack) aktivitesiyle asetata dönüştürülür. Furmarat-nitrat (FNR) ve anoksik redoks kontrolü (ArcAB) oksijenli ya da oksijensiz metabolizma arasındaki ayrımı düzenlemektedir. Fermantasyon sırasında redoks dengesini korumak için süksinat format, asetat, laktat ve etanol karışımı üretilmektedir. Etanol oluşumu, iki NAD molekülünden asetil-CoA'nın alkol dehidrojenaz (adhE) katalizlenmesi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Laktat üretimi, pirüvatın indirgenerek laktat dehidrojenaz enzimi ile katalizlenmesi sonucunda 1 NAD molekülünün harcanması sonucu elde edilmektedir. Süksinat oluşumu, PEP-karboksilaz (ppc) tarafından fosfoenolpirüvatın oksaloasetata karboksilasyonu ile başlayarak daha sonra malat dehidrojenaz (mdh), fumaraz (fumB) ve fumarat redüktaz (frd) aktivitesi yoluyla gerçekleştirilmektedir (Förster ve Gescher, 2014). E. coli karışık fermantasyonu Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. *E. coli* karışık fermantasyonu (Förster ve Gescher, 2014).

2.1.5. Asetik Asit Fermantasyonu

Asetik asit fermantasyonu, glüközün alkole dönüştürülmesinden sonra bu alkolün asetik aside oksitlenerek dönüştürülmesidir. Etil alkolden üzerinden 3 aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada etil alkolden, alkol dehidrojenaz enzimi sayesinde 1 mol asetaldehit ve 1 mol su açığa çıkmaktadır. İkinci aşamada asetaldehit su ile reaksiyona girerek asetaldehit hidratının oluşumu gerçekleşir. Üçüncü aşamada ise asetaldehit hidrat oksijenli ortamda asetaldehit dehidrojenaz enzimi ile set aldehite oksitlenmekte olup bu tepkime

ekzotermiktir. Aynı bakteriler anerobik koşullarda astaldehiti Kanizzaro reaksiyonu ile asetik asit ve alkole çevirir (Erkmen ve ark., 2020).

2.1.6. Bütirik Asit Fermantasyonu

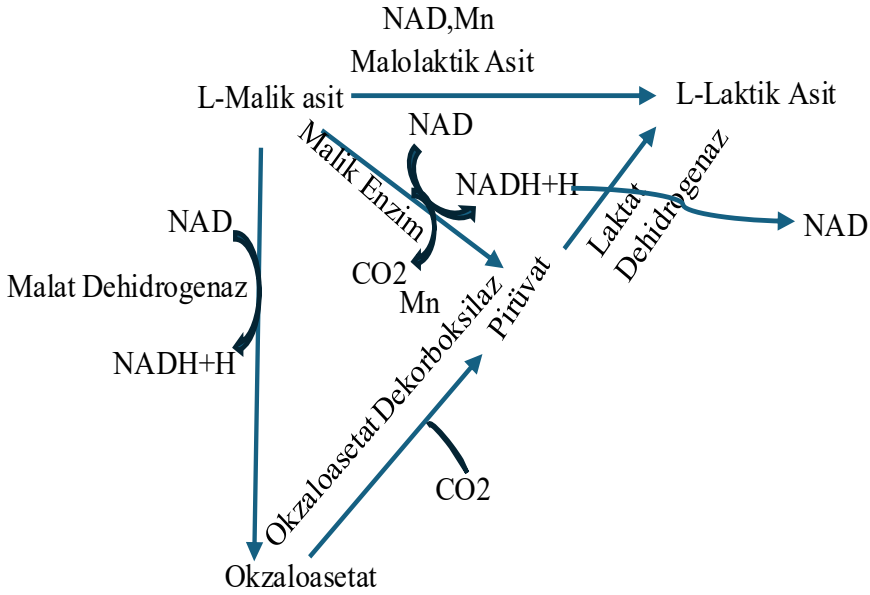
Bütirik asit fermantasyonunda *Clostridium* türleri (örneğin, *C. butyricum*, *C. tyrobutyricum*) öne çıkmaktadır. Bütirik asit fermantasyonu Şekil 12' de gösterilmiştir. Bütirik asit biyoyakıt, ilaç ve kimya endüstrisi gibi çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. Artan petrol fiyatları, azalan petrol kaynakları ve temiz enerjiye olan ihtiyaç nedeniyle biyoyakıtlara büyük ilgi görülmektedir. Biyoyakıtlar, sürdürülebilirlik, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve tedarik güvenilirliği gibi avantajlar sunmaktadır. Aynı zamanda bütirik asitin antikanser etkileri ve kolon mukozasını koruma gibi sağlık açısından faydaları da dikkat çekmektedir. Endüstriyel üretimde bütirik asit genellikle kimyasal sentezle elde edilmektedir. Ancak fermantasyon gibi doğal yöntemler, tüketicilerin organik ürünlere ilgisi nedeniyle giderek önem kazanmaktadır. Tereyağından bütirik asit elde etmek mümkün olsa da bu yöntem pahalı olup ve kimyasal sentezle rekabet edememektedir. (Zhang ve ark., 2009).

2.1.7. Formik Asit (Malolaktik) Fermantasyonu

Malolaktik fermantasyon şarap üretiminde kullanılmaktadır. Malolaktik fermantasyonda en önemli olay laktik asit bakterileri tarafından dikarboksilik asit olan bir molekül L-malik asidin, monokarboksilik asit olan bir molekül L-laktik aside ve 1 molekül CO₂'e dönüştürülmesi sonucunda asitliğin biyolojik olarak azalmasıdır. Bu yollar Şekil 13'te gösterilmiştir. Malolaktik fermantasyon süresince malik asidin tamamı indirgenir ve bu da şarabın pH'sının yükselmesi ve tadının değişmesine neden olmaktadır (Geredeli ve Anlı, 2005).

2.1.8. Metan Üretimi

Metan fermantasyonu, atık işlemede hem çevresel kirliliği azaltan hem de enerji geri kazanımı sağlayan etkili bir yöntemdir. Bu tür anaerobik sindirim, süreci geciktirebilen ve başarısızlığa yol açabilecek inhibitörlere maruz kalabilmektedir. Bu maddelerin toksisiteye neden olan mekanizması ve sürecin verimliliği üzerindeki etkileri bilinmektedir. Ancak metan fermantasyonunun mikroorganizmaların aktivitesi ve mikrobiyotanın bileşimi üzerindeki etkileri



Şekil 13. Malik asittin metabolik yolları (Geredeli ve Anlı, 2005).

3. FERMENTE ÜRÜNLERİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

3.1. Fermente Gıdaların Bilişsel ve Davranışsal Değişimler Üzerine Etkileri

Sık yoğurt tüketenlerin, az tüketenlere veya hiç tüketmeyenlere kıyasla daha yüksek besin tüketimine sahip olmalarının yanı sıra daha fazla meyve ve sebze, tam tahıllar ve süt ürünleri tüketimine sahip oldukları ve diyet yönergelerine daha iyi uyum sağladıkları gösterilmiştir. Son epidemiyolojik ve klinik çalışmalar, yoğurdun vücut ağırlığı, enerji homeostazı ve glisemik kontrol üzerindeki olumlu etkileri sayesinde metabolik sağlığa katkıda bulunduğunu göstermektedir. Yoğurt tüketenlerin, tüketmeyenlere kıyasla fiziksel olarak daha aktif oldukları (≥ 2 saat/hafta), daha az sigara içtikleri, daha yüksek eğitim seviyesine ve beslenme bilgisine sahip oldukları gösterilmiştir (Panahi ve ark., 2017).

Yaşları 20-71 arasında değişen, çoğunluğu hemşirelerden oluşan 961 kadın üzerinde yapılan bir çalışmada, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* OLL1073R-1 ile fermente edilmiş yoğurt tüketiminin etkileri incelenmiştir.

Katılımcılar iki gruba ayrılıp, birinci gruba 479 kişi 16 hafta boyunca günlük 112 mL *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* OLL1073R-1 ile fermente edilmiş yoğurt verilmiş, ikinci gruba ise yoğurt verilmemiştir. Çalışmanın sonucunda, yoğurt tüketiminin uyku kalitesini ve gastrointestinal sağlığı iyileştirerek bireylerin yaşam kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir (Kinoshita ve ark., 2021).

Kanada Yaşlanma Uzunlamasına Çalışması'na katılan 7.945 yaşlı yetişkinin süt ürünü tüketimi ile bilişsel işlevler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Toplam süt ürünü, peynir ve az yağlı süt tüketiminin yönetici işlevlerle, yoğurt tüketiminin ise bellekle pozitif ilişkili olduğu gösterilmiştir. Süt ürünü tüketimi günde 2,5 kattan fazla olan katılımcılar, daha düşük tüketenlere göre daha yüksek bilişsel performans sergilemişlerdir (Tessier ve ark., 2021). Ancak fermente gıdalar ve prebiyotiklerin tüketimi, psikolojik stres altındaki tıp öğrencilerinde bilişsel performans, depresyon ve anksiyete semptomları ile ilişkisi incelendiğinde, fermente gıdaların bilişsel performansla ilişkisinin olmadığı, ancak fermente gıdaların yüksek miktarlarda tüketiminin depresyon ve anksiyete semptomlarının şiddetini azalttığı gösterilmiştir. Prebiyotik gıdaların ise bu semptomlarla herhangi bir ilişkisinin olmadığı gözlemlenmiştir (Karbownik ve ark., 2022).

Yapılan başka bir çalışmada Japonya'da demans hastalığı ile fasulye (soya fasulyesi dahil) tüketiminin bakım gerektirecek kadar şiddetli bunama (demans) riskiyle arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmaya yaşları 40 ile 64 arasında değişen toplam 3.739 kişi katılmıştır. Natto tüketiminin, bakım gerektirecek kadar ağır demans riski ile ters orantılı olduğu bildirilmiştir. Ancak, tofu tüketimi ile arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsız olduğu bildirilmiştir (Kishida ve ark., 2023).

3.2. Fermente Gıdaların Ağız Sağlığı Üzerine Etkileri

Periodontal hastalıkların ve diş çürüklerinin tedavisinde ve yönetiminde yeni bir araştırma alanıdır. Diş hekimliğinde, çürük oluşumunu azaltmak, diş erozyonu riskini azaltmak, periodontal sağlığı sağlamak, ağız kokusunu gidermek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, risklerinin ve faydalarının tam olarak anlaşılması önemlidir. Probiyotikler, karbonhidratları laktik aside dönüştürebilen *Lactobacillus* bakterileri sayesinde laktik asit açığa çıkmaktadır. Bu laktik asit, ağız boşluğunun pH'ını düşmesine neden olarak

plak ve diş taşı oluşturan bakteriler, diş taşı ve plak oluşturmaz. Bunun yanı sıra sert diş dokularının aşınma riskini de azaltır (Chopra ve Mathur 2013; Voidarou 2020). Süt dişlerini tamamlayan ve dişlerinde çürük bulunmayan 6 okul öncesi çocuğun 1 yıl boyunca günlük 100 g probiyotik yoğurt tüketmeleri sağlanmıştır. Çalışmada her 6 ayda bir örnekler toplanmıştır. Çalışmanın sonucunda ağız florasında *Campylobacter*, *Haemophilus*, *Lautropia*, *Bacillus*, *Catonella*, *Lactococcus* ve *Solibacillus* artarken *Gemella* ve *Streptococcus*'larda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. (Xu ve ark., 2021).

Diş kaybı üzerine toplamda 5 yıl süren bir çalışmada ise natto tüketiminin menopoza sonrası kadınlarda kemik mineral yoğunluğunun değişikliği ile diş kaybı insidansı üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Çalışmaya yaş ortalaması 64,2 yıl olan toplam 435 postmenopozal kadının dahil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda alışkanlık haline gelen natto tüketiminin kemik mineral yoğunluğu değişiminden kaynaklı diş kaybı insidansında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Iwasaki ve ark., 2021).

3.3. Fermente Gıdaların Mide Üzerine Etkileri

Mide kanseri için, *H. pylori*'nin insan gastrointestinal sisteminde kansere neden olduğu bilinmektedir. Bu kamçılı Gram (-) bakteri 1990'ların başlarında Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından I. grup kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. (Ağagündüz ve ark., 2023; Moller H ve ark., 1995). *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* içeren yoğurt takviyesi ile *H. pylori*'nin eradikasyon oranlarının iyileştirilebileceği tespit edilmiştir (Sheu ve ark., 2002).

3.4. Fermente Gıdaların Bağırsaklar Üzerine Etkileri

L. acidophilus ve *Bifidobacterium* spp. ile zenginleştirilmiş probiyotik yoğurt, hidrojen nefes testi sonucu ve laktoz intoleransı semptomlarını güvenli ve etkili bir şekilde azaltabilmektedir (Masoumi ve ark., 2021). Simüle edilmiş gastrointestinal sistem koşulları altında, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* bağırsak epitelyal Caco-2 hücrelerine yapıştığı ve otofajiyi tetiklediği, konak epitel hücreleri tarafından antimikrobiyal peptit üretimini indüklediği belirtilmiştir (Popović ve ark., 2020). Plazma CD14, bağırsak bariyerinin işlev bozukluğunun bir belirtecidir.

Yoğurt tüketimiyle CD14 seviyesi arasındaki ilişki bir çalışmada araştırılmıştır. Bu çalışmaya 1989-1990 yılları arasında 632 kadın, 1993-1994 yılları arasında 444 erkek katılmıştır. Yoğurt tüketimi besin sıklığı anketleriyle tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonucunda daha yüksek yoğurt tüketim sonucu özellikle erkeklerde, CD14 konsantrasyonunun daha düşük seviyede olduğu bulunmuştur (Luo ve ark., 2021).

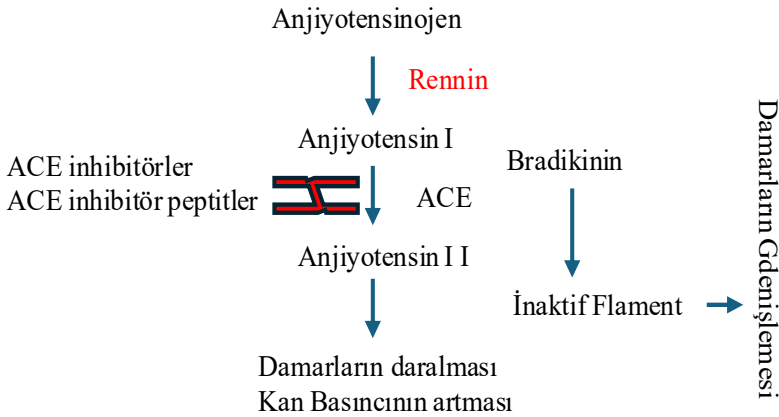
İrritabl bağırsak sendromu (IBS) semptomlarını hafifletici etkisi araştırılan bir çalışmada, kimchi tüketimi sonucu enerji, lif ve üç ana besin maddesi (karbonhidrat, protein ve yağ) alımının çalışma sonunda başlangıç seviyesine göre arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca serum inflamatuvar sitokin seviyesinde ve zararlı dışkı enzim aktivitelerinde azalma meydana gelmiş, bu da IBS semptomlarının hafifletilmesine katkı sağlamıştır. Çalışmada, kimchiye eklenen ölü nano boyutlu *Lactobacillus plantarum*'un bağışıklık sistemini iyileştirdiği, fonksiyonel kimchinin ise *Bifidobacterium adolescentis*'in büyümesini desteklediği bildirilmiştir (Kim ve ark., 2022).

Vitaminler ve probiyotik *Lactocaseibacillus casei* ve *rhamnosus* ile zenginleştirilmiş yoğurt tüketiminin bağırsak mikrobiyomu üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılan başka bir çalışmada, yoğurdun probiyotik ve vitaminlerle güçlendirilmesinin kan, dışkı parametreleri ve bağırsak mikrobiyomu bileşimi ve çeşitliliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir (Odintsova ve ark., 2021).

3.5. Fermente Gıdaların Kardiovasküler Sistem Üzerine Etkileri

Süt proteini, kardiyovasküler hastalıklar (KVD) için hipotansif, antioksidan, hipokolesterolemik ve antitrombotik aktivitelere sahip biyoaktif peptitlerin ana kaynağıdır. Bu tür peptitler, proteolitik enzimlerin ve laktik asit bakterilerinin yüksek proteolitik suşlarının etkisiyle salınmaktadır (Abd El-Fattah ve ark., 2017a; Abd El-Fattah 2017b; Abd El-Fattah ve ark., 2018; Elfahri KR ve ark., 2016; El-Fattah ve ark., 2016). Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitör peptitleri, inaktif anjiyotensin I'in vazokonstriktör anjiyotensin II'ye dönüşümünü engeller ve vazodilatör bradikinin artırmak kan basıncında düşmeye neden olmaktadır (Abd El-Fattah ve ark., 2018; Meisel 1998;). Bu nedenle *L. rhamnosus* GG ve *L. paracasei*'nin yoğurtlarda kullanılması süt ürünlerinde oluşan biyoaktif peptitlerin özelliklerini

iyileştirebileceği düşünülmektedir (Çakmakoglu ve ark., 2024). Protein oranı yaklaşık %4,5 arttırılmış ve *Lactobacillus helveticus* LH-B02 ilave edilmiş yoğurt tüketimi, α_{S1} -CN f(24–32) ve β -CN f(193–209) gibi biyoaktif özelliklere sahip peptitlerin oluşumunu artırmıştır. Ancak, protein oranı yaklaşık %7,2 olan yoğurdun ACE inhibitör aktivitesini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir (Cavalheiro ve ark., 2020). Renin -anjiyotensin sistemi Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Renin -anjiyotensin sistemi (Abd El-Fattah ve ark., 2018).

γ -Aminobütirik asit (GABA), nöro transmisyonda rol oynayan ve protein olmayan amino asittir (Nejati ve ark., 2013). GABA, merkezi sinir sisteminde nörotransmitterleri inhibe etmektedir. GABA, beyinde devam eden inhibisyonun çoğunu düzenlediğinden, GABAerjik inhibisyonadaki bozulmalar nöbetlere neden olma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, GABA'nın tedavi olarak hedeflendiği en yaygın bozukluk epilepsidir. Ancak psikiyatrik hastalık, spastisite ve katı insan sendromu gibi diğer bozuklukların hepsi beyindeki GABAerjik fonksiyon bozukluklarıyla ilişkilendirilmiştir (Ting Wong ve ark., 2003). GABA, diüretik, sakinleştirici, anti-tümörojenik aktivite ve hipotansiyona neden olabilmektedir (Nejati ve ark., 2013). GABA'nın hipotansif mekanizması, periferik sempatik sinir terminallerinden noradrenalin salınımının inhibisyonu sonucu meydana gelmektedir. Dolayısıyla GABA perivasküler sinir uyarımını inhibe ederek hipotansif etkinin oluşmasına neden olmaktadır (Abd El-Fattah ve ark., 2018; Nejati ve ark., 2013). Laktik asit bakterileri, yüksek GABA içeriği nedeniyle yoğun bir şekilde takip edilen ve çeşitli GABA ile zenginleştirilmiş gıda ürünlerinde doğrudan formülasyona

izin verilen genellikle güvenli (GRAS) statüsünde kabul edilen en önemli GABA üreticilerinden biridir (Pannerchelvan ve ark., 2023).

Kesitsel, Maine-Syracuse Uzunlamasına Çalışması'ndan 915 yetişkin üzerinde yoğurt tüketimi ile kan basıncı arasındaki ilişki incelenmiştir. Hipertansif bireylerde yoğurt tüketiminin sistolik ve ortalama arter basıncı ile ters ilişkili olduğu, ancak hipertansif olmayan bireylerde böyle bir ilişki bulunmadığı gösterilmiştir (Wad ve ark., 2021).

Yoğurt tüketim sıklığı ile kan basıncı arasındaki ilişkinin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise 2003-2004 ve 2005-2006 yılları arasında Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme Anketi'nden alınan verilerle yapılan kesitsel analizde, 3.068 yetişkinin kan basıncı ve yoğurt tüketim verileri kullanılmıştır. Hipertansiyonu olmayan 1.822 katılımcıda yoğurt alımı ile sistolik, diyastolik ve ortalama arter basıncı arasında ters bir ilişki bulunmuş, ancak hipertansiyonu olan 1.246 katılımcıda bu ilişkinin olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca, yüksek sıklıkta yoğurt tüketiminin hipertansiyonu önlediği, ancak hipertansiyon tanısı almış bireylerde ek bir antihipertansif etki göstermediği tespit edilmiştir (Li ve ark., 2024).

Fransa'da 2009-2019 yılları arasında 18 yaşından büyük toplam 579.155 kişinin dahil olduğu, süt tüketiminin kardiovasküler hastalık arasındaki ilişkiyi inceleyen prospektif bir kohort çalışmada süt, peynir, yoğurt, fermente süt ve az yağlı sütün tüketimi ile kardiovasküler hastalık ve koroner kalp hastalığı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Ancak yoğurt ve peynir gibi fermente süt ürünlerinin günde 160 g tüketenler ile 57 g altında tüketenler kıyaslandığında, günde 160 g tüketenlerde serebrovasküler hastalık riskinin azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada kardiovasküler hastalık ve koroner kalp hastalığı ile herhangi bir süt ürünü ilişkilendirilmemiştir (Sellem ve ark., 2022).

3.6. Fermente Gıdaların Kolesterol ve Obezite Üzerine Etkileri

Çin'in Tianjin kentinde 26.824 katılımcı ile yoğurt tüketiminin lipit profilleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Günlük yoğurt tüketiminin trigliserit (TG) ile negatif ve yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL-K) ile pozitif ilişkili olduğu, ancak toplam kolesterol (TK) ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL-K) ile anlamlı bir fark bulunmadığı gösterilmiştir (Gu ve ark., 2022). Hafif ve orta dereceli hiperkolesterolemisi olan kişilerde probiyotik yoğurdun serum lipid düzeyi üzerine etkilerinin araştırılan 274

kişinin katıldığı başka bir çalışmada, düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol düzeyinde önemli derecede azalma meydana geldiği ancak yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterolde önemli bir değişikliğin olmadığı ortaya konulmuştur (Pourrajab ve ark., 2020).

D vitamini eksikliği; otoimmün hastalık, metabolik sendrom, kardiyovasküler hastalık riskinin artması ve sistemik inflamasyonun artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla 1500 internasyonal ünite (IU) nano kapsül ilave edilen az yağlı süt ve yoğurdun abdominal obez kişilerde, sistemik inflamasyon üzerindeki etkinliğini araştırmak için 2,5 ay süren bir çalışmaya 289 gönüllü katılmıştır. Çalışma için 200 mililitre (mL) sade süt ve az yağlı süt, 150 g/gün sade yoğurt ve az yağlı yoğurt D₃ vitaminiyle güçlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, nötrofil, lenfosit, trombosit ve kırmızı kan hücresi dağılım genişliği (Red Cell Distribution Width, RDW) ile serum düzeylerinin, güçlendirilmiş süt gruplarında müdahaleden önce ve sonra anlamlı derecede daha düşük olduğu gösterilmiştir. Nötrofil-lenfosit oranı (NLR), trombosit-lenfosit oranı ve RDW-trombosit oranı (RPR) değerleri, güçlendirme grubunda anlamlı derecede azalmıştır. Dolayısıyla nano D₃ vitamini ile güçlendirilen yoğurtların abdominal obezitesi olan bireylerde inflamasyonu azaltabileceği bildirilmiştir (Sharifan ve ark., 2022). D vitamini ile zenginleştirilmiş yoğurdun, metabolik sendromu olan ve olmayan yetişkinlerde serum pro-oksidan/antioksidan dengesi üzerindeki etkisini inceleyen dördü kör klinik çalışmaya, 30–50 yaş aralığında 139 gönüllü katılmıştır. Katılımcılar, randomize olarak D vitamini takviyeli yoğurt ve plasebo gruplarına ayrılmıştır. D vitamini eklenen yoğurt grubundan, nano kapsüllere 1500 IU D vitamini ile zenginleştirilmiş yağlı yoğurdu 10 hafta boyunca tüketmeleri istenmiştir. Çalışmanın sonucunda pro-oksidan antioksidan dengesi ve vücuttaki inflamasyonu ölçmek için hs-CRP değerleri incelenmiş olup bu değerlerde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla araştırmacılar D vitamini ile zenginleştirilen yoğurdun anti-inflamatuar/anti-oksidatif etkisinin olduğunu belirtmişlerdir (Taghizadeh ve ark., 2021).

Obezite hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeleri etkilemektedir. Obezite kronik hastalık riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Obeziteye genellikle yağ dokusu ve bağırsak tarafından sürdürülen kronik, düşük dereceli inflamasyon eşlik etmektedir. Bağırsakta, obeziteyle ilişkili mikrobiyota düzensizliği ve bozulmuş bağırsak bariyer fonksiyonu endotoksin maruziyetini

artırabilmektedir. Bağırsak bariyer fonksiyonu patojenler, inflamatuvar sitokinler, endokannabinoidler, diyet, egzersiz ve gastrointestinal peptitler tarafından etkilenebilmektedir. Araştırmalar, yoğurt tüketiminin obez bireylerin sağlığını da iyileştirebileceğini göstermektedir. Yoğurt tüketimi, doğuştan ve adaptif bağışıklık tepkilerini, bağırsak bariyer fonksiyonunu, lipid profillerini geliştirerek ve iştahı düzenleyerek bağırsak sağlığını iyileştirebilmektedir. Ayrıca kronik inflamasyonu azaltabileceği bildirilmiştir (Pei ve ark., 2017). Karın obezitesi olan erkeklerde fermente ve fermente olmayan süt ürünlerinin karaciğer yağı ve metabolik risk belirteçleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Diyete eklenen ve 16 hafta boyunca tüketilen fermente yoğurt ürünlerinin karaciğer yağlanmasında azalma ve metabolik risk belirteçlerini iyileştirme konusunda fermente olmayan süt ürünlerine kıyasla üstün olmadığı bulunmuştur (Sandby ve ark., 2024). Japonya’da tek merkezde yürütülen randomize, çift kör, plasebo kontrollü ve paralel grup çalışmasında, yaşları 20-64 arasında değişen, 100 kilogramın üzerinde olan ve vücut kütle indeksi aralığı ≥ 25 ila < 30 kg/m² olan yetişkinlerin katıldığı çalışmada 3 grup oluşturulmuştur. Bu grupların her biri 50 kişiden oluşmaktadır. 1. grup plasebo 2. grup geleneksel yoğurt, 3. grup ısıyla işlenen ve $> 5 \times 10^9$ koloni oluşturan birim (kob) *L. plantarum* OLL2712 içeren yoğurdu 12 hafta boyunca günlük olarak tüketmiştir. Plazma glukozu seviyesinde, karın yağ alanında ve interlökin (IL-6) seviyesinde *L. plantarum* OLL2712 içeren yoğurt tüketenlerde, plaseboya göre önemli derecede azalma tespit edilmiştir (Toshimitsu ve ark., 2021). Kimchinin obeziteye karşı etkilerini araştırmak için, vücut kütle indeksi (BMI) $23-30$ kg/m² olan kişilere 12 hafta boyunca günlük 3000 miligram (mg) kendiliğinden fermente edilmiş kimchi tozu, *Leuconostoc mesenteroides* ile mayalanmış kimchi tozu tüketirken plasebo grubu ise laktoz tüketmiştir. Çalışmanın sonucunda Kimchi tüketimi *Akkermansia muciniphila* oranını artırırken *Proteobacteria* oranını azaltmıştır. Dolayısıyla günlük kimchi tüketmenin bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek obezite semptomlarını hafifletebileceği düşünülmektedir (Lee 2024). Kimchi ile obezite arasındaki ilişkiyi incelemek için 2004-2013 yılları arasında 40-69 yaş aralığındaki 115.726 kişi çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda erkeklerde günde ortalama 1-3 porsiyon tüketiminin günde ortalama 1 porsiyondan az tüketenlere göre obezite prevalansının daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ayrıca diğer kimchi türlerine göre baechu (lahana) kimchi daha

fazla tüketenlerde obezite ve abdominal obezite olasılığı %10 daha düşük bulunmuştur. Kkakdugi (turp) kimchisini diğer kimchi türlerine göre ortalamanın üzerinde tüketenlerle tüketmeyenler kıyaslandığında erkeklerde %8 kadınlarda %11 oranında abdominal obezite oranı daha düşük bulunmuştur. (Jung ve ark., 2024) Kimchinin kilo kaybı arasındaki ilişkiyi incelemek için 58.290 kişinin katıldığı ancak BMI >25 kg/m² olan 20.066 katılımcı ile yürütülen çalışmada orta düzeyde kimchi alımı sonucu özellikle erkeklerde orta yaşlı ve yaşlı Korelilerde kilo kaybı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Tan ve ark., 2023).

3.7. Fermente Gıdaların Metabolizma Üzerine Etkileri

Limosilactobacillus fermentum GR-3 içeren bir probiyotik yoğurt veya geleneksel bir yoğurt tüketen 2 ay boyunca 120 gönüllü ile randomize, çift kör, kontrollü bir araştırma yürütülmüştür. Çalışma sonucunda kanda üre miktarının yüksekliğini ifade eden hiperürisemi tedavisinde etkili ve ekonomik bir terapötik adjuvan olabileceği bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2022).

3.8. Fermente Gıdaların Böbrekler Üzerine Etkileri

Probiyotik *Lactobacillus casei* Zhang'ın (*L. casei* Zhang) oral yoldan uygulanmasının, bilateral renal iskemik-reperfüzyon (I/R) kaynaklı bağırsak mikrobiyal disbiyozu düzelttiği, böbrek hasarını hafiflettiği ve farelerde kronik böbrek hastalığının ilerlemesini geciktirdiği gösterilmiştir. Ayrıca insanlar üzerinde yapılan 1 yıllık plasebo kontrollü faz 1 çalışmasında, *L. casei* Zhang'ın oral yoldan uygulanmasının, kısa zincirli yağ asitlerini ve nikotinamid metabolizmasını değiştirerek böbrek hasarını hafifletmek ve böbrek yetmezliğinin ilerlemesini yavaşlatmak için potansiyel bir tedavi olabileceği düşünülmektedir (Zhu ve ark., 2021).

3.9. Fermente Gıdaların Dışkıda Meydana Getirdiği Değişiklikler

Birkaç gün yoğurt tüketilmesi sonrasında özellikle *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un sağlıklı bireylerin dışkılarından elde edildiği bildirilmiştir (Elli, M ve ark., 2006). Sağlıklı Japonlar üzerinde yapılan bir çalışmada *Lactobacillus* GG yoğurdu tüketiminin dışkıda *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* GG sayılarında artışa neden olduğu, dışkı amonyak seviyesinde

ve dışkı pH'sında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Benno Y ve ark., 1996). *Faecalibacterium prausnitzii*, sağlıklı yetişkinlerin bağırsak mikrobiyotasında toplam bakteri popülasyonunun %5'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu bakterinin sayısındaki değişiklikler disbiyoz ile ilişkilendirilmiştir (Miquel ve ark., 2013). *H. pylori* enfeksiyonu olan ve olmayan çocuklar arasındaki dışkı mikrobiyotasındaki kompozisyonundaki farklılıklar araştırılmış ve *H. pylori* ile enfekte çocuklarda, *F. prausnitzii* önemli derecede düşük olduğu bulunmuştur. Probiyotik içeren yoğurt ve *H. pylori* eradikasyonu ile disbiyozun iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışma için *H. Pylori* ile enfekte çocuklara probiyotik yoğurt verilmiştir. Bakteri eradikasyonu ile probiyotik içeren yoğurt alımı, *H. pylori* ile enfekte çocuklarda dışkı *F. prausnitzii*'nin azalmasını geri kazandırabileceği bildirilmiştir. Ayrıca lipopolisakkarit kaynaklı IL-8'i önemli ölçüde azalttığı da bildirilmiştir. (Yang ve ark., 2020). Kabızlık için 3 suş içeren yoğurttan 7 gün boyunca günde 250 ml yedirildiğinde, defekt sıklığında, bakteri çeşitliliğinde önemli bir artış yaşandığı, asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit konsantrasyonlarında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak 3 suş içeren yoğurdun yavaş geçişli bağırsak hastalığının (kabızlık) semptomlarını azaltmada etkili olduğunu bildirmişlerdir (Li ve ark., 2020).

3.10. Fermente Gıdaların İskelet ve Kas Sistemi Üzerine Etkileri

Genç yetişkin kadınlar üzerinde yapılan bir çalışmada 4g inülin ve *Lactobacillus rhamnosus* GG >1 x 10⁷ kob/mL içeren simbiyotik yoğurttan 180 mL kısa süreli tüketmenin normal tüketenlere göre kalsiyum Emilimini arttırdığı gözlemlenmiştir (Cortes ve ark., 2022). Japonya'da düzenli natto alımının osteoporotik kırık ile ilişkili olup olmadığını anlamak için yapılan bir çalışmaya >45 yaş 1.417 postmenopozal kadın kohort çalışmaya katılmıştır. Çalışmada Tofu veya diğer soya fasulyesi ürünlerinin tüketim sıklığının osteoporotik kırık riski ile bir ilişkisi bulunamazken, düzenli natto tüketiminin osteoporotik kırık riskinin azaltılmasıyla ilişkilendirilmiştir (Kojima ve ark., 2020).

Yapılan başka bir çalışmada sağlıklı ve antrenmansız 30 yaşlı erkek (yaş ortalaması 68±4 yıl) üzerinde egzersiz sonrası İzlanda yoğurdu tüketiminin etkileri değerlendirilmiştir. Katılımcılar iki gruba ayrılmıştır. Sekiz hafta

süresince 15 katılımcıdan oluşan İzlanda yoğurdu grubunda (18 g protein) ve plasebo grubunda (0 g protein) direnç eğitimi sonrası yağsız kütle, güç ve iskelet kası düzenleyici faktörlerde anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir. Araştırmacılar İzlanda yoğurdunun, direnç antrenmanı ile elde edilen kas kazanımlarını artırarak, sarkopeninin önlenmesi için etkili bir strateji olabileceğini bildirmişlerdir. (Bagheri ve ark., 2022). Hemşirelerin ve sağlık çalışanlarının katıldığı 85.280 kadından oluşan bir grup 1980-2010 yılları arasında toplanan veriler kullanılarak süt, yoğurt ve peynir tüketiminin kırılabilirlik riskiyle ilişkisi değerlendirilmiştir. Süt ve yoğurt tüketiminin güçsüzlük riskiyle ilişkilendirilmediği, ancak peynir tüketiminin güçsüzlük riskini arttırdığı gösterilmiştir. Ayrıca, süt, yoğurt veya peynirin tam tahıllar, kuruyemişler veya baklagillerle değiştirilmesi güçsüzlük riskinin azalmasıyla, kırmızı et veya yumurta ile değiştirilmesi ise bu riskin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Struijk ve ark., 2024).

3.11. Fermente Gıdaların Şeker Hastalığı Üzerine Etkileri

Yakın zamanlarda araştırmacılar yüksek seviyede gama-poliglutamik asit (γ -PGA) içeren natto geliştirilmişlerdir. Bu geliştirilen natto türünün yemek sonrası glisemik indeks sapma üzerine 20-64 yaş aralığındaki bireyler üzerinde yapılan çalışmada yüksek seviyede γ -PGA içeren natto'nun, yemek sonrası erken dönemde kan şekerini baskılayabileceğini bulmuşlardır (Araki ve ark., 2020). Ancak düşük ve yüksek düzeyde gama-poliglutamik asit içeren natto'nun, 20-70 yaşları arasında erkekler üzerinde yemek sonrası kan glikoz seviyesindeki artış ve insülin cevabı araştırıldığında yüksek düzeyde gama-poliglutamik asittin erken dönemde glikoz üzerinde baskılayıcı etkilerinin disglisemi ve kardiovasküler hastalık riski ile ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir (Araki ve ark., 2020). Bağırsak mikrobiyotasında disbiyoz gelişmesiyle tip 2 diabetes mellitus yakın ilişkilidir. Tip 2 diabetes mellitusu olan hastalarda glisemik kontrol ve lipid kontrolü için 72 hastanın katıldığı 12 hafta süren bir çalışmada bir gruba normal yoğurt diğer gruba ise 4.65×10^6 kob/g *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium lactis* içeren yoğurttan 200 g/gün verilen, randomize kontrollü klinik bir çalışmada, *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium lactis* içeren yoğurdun normal yoğurda göre tip 2 diabetes mellitus hastalarında faydalı olabileceğini belirtmişlerdir (Mirjalili ve ark., 2023).

3.12. Fermente Gıdaların Deri Sağlığı Üzerine Etkileri

2018 yılında Uganda’da okul öncesi çocuklarda yoğurt ve süt tüketilmesinin cilt enfeksiyonları (örneğin, tinea capitis) oluşumu üzerine yoğurt ve süt tüketimin etkileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 584 çocuğun *Lactobacillus rhamnosus yoba*’lı yoğurt tüketimi, 532 çocuğun ise süt tüketimi takip edilmiştir. Cilt enfeksiyonları ile ilişkili semptomlarda görülme sıklığı yoğurt grubunda süt grubundan daha hızlı azaldığı bildirilmiştir (Westerik ve ark., 2020).

3.13. Fermente Gıdaların Solunum Sistemi Üzerine Etkileri

2018 yılında Uganda’da okul öncesi çocuklarda yoğurt ve süt tüketiminin solunum yolu enfeksiyonları (soğuk algınlığı) üzerine çalışma yapılmış olup bu çalışmada 584 çocuğun *Lactobacillus rhamnosus yoba*’lı yoğurt, 532 çocuğun ise süt tüketimi tüketmeleri sağlanmıştır. Yoğurt grubunda bulunan çocuklarda süt grubunda bulunan çocuklara göre soğuk algınlığı semptomlarının görülme sıklığı daha hızlı azalmıştır (Westerik ve ark., 2020). Vitaminler ve probiyotik *Lacticaseibacillus casei* ve *rhamnosus* ile zenginleştirilmiş bir yoğurt tüketiminin üst solunum yolu enfeksiyonlarının sıklığı üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılan başka bir çalışmada kadınların üst solunum yolu insidansının probiyotik içeren yoğurt tüketenlerde daha az olduğu, erkeklerde ise anlamlı bir fark bulunamadığı ancak erkeklerde üst solunum yolu enfeksiyonu süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Kadınlarda ise sadece bir probiyotik içeren yoğurttaki üst solunum yolu enfeksiyonu süresinde azalma görülmüştür (Odintsova ve ark., 2021).

3.14. Fermente Gıdaların Yaşam Süresi Üzerine Etkileri

Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) 32.625 katıldığı, yoğurt ile probiyotik içeren diyet takviyelerinin tüketiminin yetişkinlerde ölüm oranı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada, probiyotik içeren gıda takviyelerinin ölüm oranlarının azalmasında etkili olmadığı ancak yoğurt tüketimi sonucu ölüm oranının düşük olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada yoğurt tüketimi, kardiovasküler hastalık nedeniyle ölüm oranı ve kanser ölüm oranının da düşük olduğu tespit edilmiştir (Lin ve ark., 2022). Benzer bir çalışmada Japonya’da 45-74 yaş aralığında 92.915 katılımcı ile gerçekleştirilen

fermente soya ürünleri natto, miso ve fermente ürün olmayan tofu tüketen katılımcılarda 14,8 yıllık takibin ardından, fermente soya ürünlerinin tüketilmesi sonucu daha düşük ölüm oranı olduğu belirtilmiştir. Ancak toplam soya ürünlerinin herhangi bir nedene bağlı ölüm oranıyla anlamlı bir ilişkisi olduğu gözlemlenmemiştir. Ayrıca hem kadın hem de erkeklerde kardiyovasküler hastalıkla ilişkili ölüm oranıyla nato tüketimi arasında anlamlı derece ters bir ilişki bulunmuştur (Katagiri ve ark., 2020). Süt ve yoğurt tüketiminin ölüm oranıyla ilişkisinin incelendiği çalışmaya 40-74 yaş aralığındaki 14.264 kişinin katılmıştır. Katılımcılar yoğurt ve süt alım sıklığına bağlı olarak hiç (<1 /ay), düşük (<1 /hafta), orta ($1-6$ /hafta) ve yüksek (≥ 1 /gün) alım olarak 4 gruba ayrılmıştır. Yüksek/orta/düşük yoğurt tüketimi ve orta/düşük süt tüketimi gruplarındaki toplam ölüm oranının, hiç tüketim olmayan gruplara kıyasla daha düşük olduğu gösterilmiştir. Kanslerle ilişkili ölüm oranı için de benzer bir ilişki tespit edilmiş ancak kardiyovasküler hastalık ölüm oranı için herhangi bir ilişki tespit edilememiştir (Nakanishi ve ark., 2021).

3.15. Fermente Gıdaların Hamile Kadın ve Yeni Doğanlarda Etkileri

Gebeliği 4 aylıktan fazla olan hamile kadınlarda fermente soya fasulyesi (miso, natto), yoğurt ve peynir gibi fermente gıda tüketiminin çocukların gelişimi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, annenin hamilelik sırasında fermente gıda tüketmesinin, bebeklerde gelişimsel riski azalttığı tespit edilmiştir (Hirai ve ark., 2024). Gebelikte anne tarafından yoğurt tüketiminin infantil egzama riski ile ilişkili olup olmadığını incelemek için Çin'in Wuhan kentinde prospektif bir anne-çocuk kohort çalışması yapılmıştır. Çalışmada, gebeliğin son döneminde annenin yoğurt tüketmesinin, 3-6 aylık bebeklerde egzama insidansını ve yaşamın ilk 6 ayında tekrarlayan egzama sıklığını azalttığı bulunmuştur (Tan ve ark., 2023). Hamilelik döneminde fermente gıda tüketmenin 1 ve 3 yaşındaki çocuklarda uyku yoksunluğunun üzerine etkisinin incelendiği çalışmaya 65.210 anne-çocuk çifti katılmıştır. Yoğurt veya peynir tüketiminin 1 yaşındaki çocuklarda uyku süresiyle ilişkili olmadığı, ancak 1 yaşında yoğurt tüketimi ile 3 yaşındaki uyku süresi arasında anlamlı bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Peynir tüketimi ise 3 yaşındaki uyku süresiyle ilişkilendirilememiştir (Inoue ve ark., 2022a). Aynı çalışmanın devamında

yapılan başka bir çalışmada, 3 yaşındaki çocukların >10 saatlik uyku süreleri incelenmiş ve 64.200 anne-çocuk çifti dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda, hamilelik döneminde fermente gıdaların tüketiminin, 3 yaşındaki çocuklarda uyku yoksunluğu riskini sınırlı da olsa azalttığı bildirilmiştir (Inoue ve ark., 2022b). Probiyotiklerin, özellikle yoğurt tüketiminin, erken çocukluk dönemi otitis media insidansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için 95.380 kişi bir çalışmaya dahil edilmiştir. Çocuklarda ve annelerde düzenli yoğurt tüketiminin, özellikle 1 yaşında, otitis media insidansını anlamlı şekilde azalttığı gösterilmiştir. En yüksek yoğurt tüketim sıklığına sahip çocuklarda ve annelerde, altı aylık yaşta otitis media insidansının en düşük seviyeye indiği bildirilmiştir (Tsuchiya 2024).

3.16. Fermente Gıdaların Uyku Üzerine Etkileri

ABD'li yetişkinlerde yoğurt ve probiyotik tüketiminin uyku bozuklukları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme Anketi'nden (NHANES) 2009-2018 yılları arasında alınan verilerle yapılan analizde, yoğurt veya probiyotik tüketiminin uyku bozukluğu riskini azalttığı bulunmuştur. Probiyotik alımıyla uyku bozukluğu riskinin anlamlı şekilde azaldığı, özellikle erkekler, beyaz tenliler ve BMI sahip bireylerde etkilerin daha belirgin olduğu gösterilmiştir (Yang ve ark., 2024).

3.17. Fermente Gıdaların Kansere Üzerine Etkileri

Toksik metal maruziyeti, kolorektal kanser oluşumu ve ilerlemesi için önemli bir rol oynayabilmektedir (Bonfiglio ve ark., 2024). Bu nedenle probiyotik yoğurt tüketimi, bağırsak mikrobiyotasının korunması için toksik metal maruziyetlerinde etkili ve en ucuz yöntem olabilir (Feng ve ark., 2022). Düzenli yoğurt tüketiminin kolorektal kanserin insidansı ve mortalitesi üzerindeki rolünü incelemek için yapılan 2 kohort çalışmada, 83.054 kadın (başlangıç yaş ortalaması 45,7 yıl) ve 43.269 erkek (başlangıç yaş ortalaması 52,3 yıl), 26 yıl boyunca incelenmiş ve bu çalışma boyunca 2.666 yeni kolorektal kanser teşhis edilmiştir. Çalışmanın sonucunda yoğurt tüketimi ile kolorektal kanser sonucu ölüm oranı arasında istatistiksel olarak anlamlı ters bir eğilim gözlenmiştir. Yoğurt tüketim sıklığı, uzun latent dönemli proksimal kolon kanseri riskinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Michels ve ark., 2020). Yoğurt tüketim sıklığı ve probiyotik kullanımı ile kolorektal polip tanısı

arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmaya 6.507 kişi katılmıştır. Çalışmada yoğurt tüketimi sonucu hiperplastik polip ve adenomatöz polip olma olasılığının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Probiyotik kullanımı ise hiperplastik polip olasılığının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Rifkin ve ark., 2020).

Tofu, soya sütü, natto ve miso gibi fermente edilmiş ve fermente edilmemiş soya tüketiminin Japon yetişkinlerde karaciğer kanser riskleri üzerine 75.089 katılımcı ile yapılan çalışmada, toplam soya tüketimi ile karaciğer kanseri arasında ilişki gözlemlenmiştir. Miso tüketen erkekler ile karaciğer kanseri arasında ters orantı olduğu bildirilmiştir (Abe ve ark., 2021). Dışkı mikrobiyotasındaki değişiklikleri incelemek için normal kolon, basit adenom ve ilerlemiş kolon adenomu olan 32 gönüllüde 10 haftalık kimchi tüketiminin dışkı mikrobiyotasında önemli değişikliklere neden olduğu bildirilmiştir. İlerlemiş kolon adenomu olan hastalarda, kimchi alımından sonra *Acinobacteria*, *Cyanobacteria*, *Clostridium sensu*, *Turicibacter*, *Gastranaeophillales*, *H. pittma* 'nın kolon adenomu olan hastalarda arttığı, kimchi tüketiminden sonra *Enterococcus*, *Roseburia*, *Coryobacteriaceae*, *Bifidobacterium* spp. ve *Akkermansia* 'nın azaldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla fermente kimchi alımı kolon adenomunun oluşumunu ve ilerlemesini önemli ölçüde engellediği bildirilmiştir (Park ve ark., 2021).

Japonya'da, fermente ve fermente olmayan soya tüketimi ile meme kanseri riski arasındaki ilişkiyi incelemek için yapılan bir prospektif çalışmaya 45 ile 74 yaş aralığında toplam 47.614 kadın katılmış ve 15,5 yıllık boyunca takip edilmiştir. Çalışmanın sonucunda fermente soya ürünlerinin tüketiminin genel meme kanseri ile ilişkisinin olmadığı ancak lokalize olmayan meme kanseri riskini azalttığı bulunmuştur (Shirabe ve ark., 2021). Uzun süreli süt ve fermente süt ürünleri tüketiminin meme kanseri riski üzerindeki etkisi, östrojen ve progesteron reseptörü durumu ile vücut ağırlığına göre incelenmiştir. Yüksek fermente olmayan süt ürünleri tüketimi, özellikle düşük vücut kütle indeksi sahip kadınlarda östrojen+/progesteron+ meme kanseri riskinin artmasıyla ilişkilendirilirken, fermente süt ürünlerinin tüketimi östrojen-/progesteron- meme kanseri riskinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. (Kaluza ve ark., 2021).

KAYNAKÇA

- Abd El-Fattah A, Sakr S, El-Dieb S, Elkashef H (2018). Developing functional yogurt rich in bioactive peptides and gamma-aminobutyric acid related to cardiovascular health. *Lwt*, 98, 390-397.
- Abd El-Fattah A, Sakr S, El-Dieb SM, Elkashef H (2017). Biological activities of lactobacilli relevant to cardiovascular health in skim milk. *Food Science and Biotechnology*, 26, 1613-1623.
- Abd El-Fattah AM, Sakr SS, El-Dieb SM, Elkashef HAS (2017). Bioactive peptides with ACE-I and antioxidant activity produced from milk proteolysis. *International journal of food properties*, 20(12), 3033-3042.
- Abe SK, Sawada N, Ishihara J, Takachi R, Mori N, Yamaji T, JPHC Study Group (2021). Comparison between the impact of fermented and unfermented soy intake on the risk of liver cancer: the JPHC Study. *European Journal of Nutrition*, 60, 1389-1401.
- Aguirre-Garcia YL, Nery-Flores SD, Campos-Muquiz LG, Flores-Gallegos AC, Palomo-Ligas L, Ascacio-Valdés JA, Rodríguez-Herrera R (2024). Lactic Acid Fermentation in the Food Industry and Bio-Preservation of Food. *Fermentation*, 10(3), 168.
- Ağagündüz D, Cocozza E, Cemali Ö, Bayazıt AD, Nani MF, Cerqua I, Capasso R (2023). Understanding the role of the gut microbiome in gastrointestinal cancer: A review. *Frontiers in pharmacology*, 14, 1130562.
- Anbarasan P, Baer ZC, Sreekumar S, Gross E, Binder JB, Blanch HW, Toste FD (2012). Integration of chemical catalysis with extractive fermentation to produce fuels. *Nature*, 491(7423), 235-239.
- Araki R, Fujie K, Yuine N, Watabe Y, Maruo K, Suzuki H, Hashimoto K (2020). The possibility of suppression of increased postprandial blood glucose levels by gamma-polyglutamic acid-rich natto in the early phase after eating: a randomized crossover pilot study. *Nutrients*, 12(4), 915.
- Araki R, Yamada T, Maruo K, Araki A, Miyakawa R, Suzuki H, Hashimoto, K (2020). Gamma-polyglutamic acid-rich natto suppresses postprandial blood glucose response in the early phase after meals: a randomized crossover study. *Nutrients*, 12(8), 2374.

- Ashok A, Doriya K, Rao DRM, Kumar DS (2017). Design of solid state bioreactor for industrial applications: an overview to conventional bioreactors. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 9, 11-18.
- Bagheri R., Moghadam BH., Candow DG., Elliott BT., Wong A., Ashtary-Larky D., Rashidlamir A. (2022). Effects of Icelandic yogurt consumption and resistance training in healthy untrained older males. *British Journal of Nutrition*, 127(9), 1334-1342.
- Bamforth CW (2015). *Food, fermentation and micro-organisms* (1nd ed.). Blackwell Science. p: [216], [22]
- Bamforth CW, Cook DJ (2019). *Food, fermentation and micro-organisms* (2nd ed.). Wiley Blackwell. p: [245], [22]-[28].
- Bellini S, Tommasi T, Fino D (2022). Poly (3-hydroxybutyrate) biosynthesis by *Cupriavidus necator*: a review on waste substrates utilization for a circular economy approach. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100985.
- Benno Y, He F, Hosoda M, Hashimoto H, KOJIMA TU, Yamazaki K, Salminen S (1996). Effects of *Lactobacillus GG* yogurt on human intestinal microecology in Japanese subjects. *Nutrition Today*, 31(6), 12S.
- Bonfiglio R, Sisto R, Casciardi S, Palumbo V, Scioli MP, Palumbo A, Scimeca M (2024). The impact of toxic metal bioaccumulation on colorectal cancer: Unravelling the unexplored connection. *Science of the Total Environment*, 906, 167667.
- Bourdichon F, Casaregola S, Farrokhi C, Frisvad JC, Gerds ML, Hammes WP, Hansen EB (2012). Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use. *International journal of food microbiology*, 154(3), 87-97.
- Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, (2016). *Encyclopedia of Food and Health*, In: Monzi F, (Eds), Academic Press, p: 501-508, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00414-1>.
- Caplice E, Fitzgerald GF (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International journal of food microbiology*, 50(1-2), 131-149.
- Capra ML, Guglielmotti DM, Bochatay T, Binetti AG, Braidà JN, Peverengo MR, del Luján Quiberón A (2023). Study of dairy heterofermentative

- lactic acid bacilli for cereal-based matrices. *Food Bioscience*, 56, 103168.
- Carmona-Cabello M, Garcia IL, Leiva-Candia D, Dorado MP (2018). Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 14, 67-79.
- Cavalheiro FG, Baptista DP, Galli BD, Negrão F, Eberlin MN, Gigante ML (2020). High protein yogurt with addition of *Lactobacillus helveticus*: Peptide profile and angiotensin-converting enzyme ACE-inhibitory activity. *Food chemistry*, 333, 127482.
- Chaves-López C, Rossi C, Maggio F, Paparella A, Serio A (2020). Changes occurring in spontaneous maize fermentation: An overview. *Fermentation*, 6(1), 36.
- Chen X, Gui R, Li N, Wu Y, Chen J, Wu X, Li X (2021). Production of soluble dietary fibers and red pigments from potato pomace in submerged fermentation by *Monascus purpureus*. *Process Biochemistry*, 111, 159-166.
- Cornes R, Sintes C, Peña A, Albin S, O'Brien KO, Abrams SA., Donangelo CM (2022). Daily intake of a functional synbiotic yogurt increases calcium absorption in young adult women. *The Journal of Nutrition*, 152(7), 1647-1654.
- Czatzkowska M, Harnisz M, Korzeniewska E, Koniuszewska I (2020). Inhibitors of the methane fermentation process with particular emphasis on the microbiological aspect: A review. *Energy Science & Engineering*, 8(5), 1880-1897.
- Çakmakoglu SK, Dere S, Bekiroğlu H, Bozkurt F, Karasu S, Dertli E, Sagdic O (2024). Production of bioactive peptides during yogurt fermentation, their extraction and functional characterization. *Food Bioscience*, 61, 104805.
- Dishisha T (2013). Microbial production of bio-based chemicals: a biorefinery perspective. Lund University.
- Doust FNS, Sharifan P, Razmi M, ekhteraei Toussi MS, Taghizadeh N, Yaghooti-Khorasani M, Ghayour-Mobarhan M (2022). Effects of vitamin D3-fortified low-fat yogurt and milk on serum cytokine levels

- and anti hsp-27 antibody titer in adults with abdominal obesity: A randomized clinical trial. *Obesity Medicine*, 30, 100382.
- Elfahri KR, Vasiljevic T, Yeager T, Donkor ON (2016). Anti-colon cancer and antioxidant activities of bovine skim milk fermented by selected *Lactobacillus helveticus* strains. *Journal of dairy science*, 99(1), 31-40.
- El-Fattah AA, Sakr S, El-Dieb S, Elkashef H (2016). Angiotensin-converting enzyme inhibition and antioxidant activity of commercial dairy starter cultures. *Food science and biotechnology*, 25, 1745-1751.
- Elli M, Callegari ML, Ferrari S, Bessi E, Cattivelli D, Soldi S, Antoine JM (2006). Survival of yogurt bacteria in the human gut. *Applied and environmental microbiology*, 72(7), 5113-5117.
- Erkmen O, Bozoglu TF (2016). Basic principles of food fermentation. *Food Microbiology: Principles into Practice*. Chichester, the United Kingdom, John Wiley and Sons Ltd, 228-252.
- Erkmen O, Erten H ve Sağlam H (2020). *Fermente ürünler teknolojisi ve mikrobiyolojisi*, 1. Basım, ANKARA: Nobel Akademik Yayıncılık, s:40-48
- Feng P, Yang J, Zhao S, Ling Z, Han R, Wu Y, Li X (2022). Human supplementation with *Pediococcus acidilactici* GR-1 decreases heavy metals levels through modifying the gut microbiota and metabolome. *NPJ biofilms and microbiomes*, 8(1), 63.
- Feng R, Chen L, Chen K (2018). Fermentation trip: amazing microbes, amazing metabolisms. *Annals of microbiology*, 68, 717-729.
- Fox PF, McSweeney PL, Cogan TM, Guinee TP (Eds.) (2004). *Cheese: Chemistry, physics and microbiology, Volume 1: General aspects*. Elsevier.
- Förster AH, Gescher J (2014). Metabolic engineering of *Escherichia coli* for production of mixed-acid fermentation end products. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 2, 16.
- Gaggia F, Di Gioia D, Baffoni L, Biavati B (2011). The role of protective and probiotic cultures in food and feed and their impact in food safety. *Trends in food science & technology*, 22, 58-66.
- Gao H, Wang W, Xu D, Wang P, Zhao Y, Mazza G, Zhang X (2021). Taste-active indicators and their correlation with antioxidant ability during the

- Monascus rice vinegar solid-state fermentation process. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104, 104133.
- Geredeli S, Anlı E (2005). Şaraptaki laktik asit bakterilerinin malolaktik fermantasyondaki önemleri. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 3(1), 1-14.
- Ghadi A, Mahjoub S, Mehravar R (2011). Management of glucose production process from rice husk by solid state fermentation method. In *International Conference on Biotechnology and Environmental Management (IPCBEE) Singapore* Vol. 18, pp: [93-97]
- Gómez-Gómez JA, Giraldo-Estrada C, Habeych D, Baena S (2015). Evaluation of biological production of lactic acid in a synthetic medium and in Aloe vera (L.) Burm. f. processing by-products. *Universitas Scientiarum*, 20(3), 369-385.
- Gu Y, Gan S, Bian S, Meng G, Zhang Q, Liu L, Niu K (2022). The association between daily yogurt consumption and serum lipid profiles in the general adult population: the TCLSIH cohort study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(3), 415-423.
- Hirai H, Tanaka T, Matsumura K, Tsuchida A, Hamazaki K, Adachi Y, Japan Environment and Children's Study Group (2024). Relationship between maternal consumption of fermented foods and the development of the offspring at the age of 3 years: The Japan Environment and Children's Study. *PLOS ONE*, 19(6), e0305535.
- Inoue M, Matsumura K, Sugimori N, Hamazaki K, Tsuchida A, Inadera H, Japan Environment and Children's Study (JECS) Group (2022). Dietary intake of yogurt and cheese in children at age 1 year and sleep duration at age 1 and 3 years: The Japan Environment and Children's Study. *BMC pediatrics*, 22(1), 624.
- Inoue M, Sugimori N, Hamazaki K, Matsumura K, Tsuchida A, Inadera H (2022b). Association between maternal fermented food consumption and child sleep duration at the age of 3 years: the Japan Environment and Children's Study. *BMC Public Health*, 22(1), 1504.
- Iwasaki M, Sato M, Yoshihara A, Saito T, Kitamura K, Ansai T, Nakamura K (2021). A 5-year longitudinal association between dietary fermented soya bean (natto) intake and tooth loss through bone mineral density in

- postmenopausal women: The Yokogoshi cohort study. *Gerodontology*, 38(3), 267-275.
- Jung H, Yun Y R, Hong SW, Shin S (2024). Association between kimchi consumption and obesity based on BMI and abdominal obesity in Korean adults: a cross-sectional analysis of the Health Examinees study. *BMJ open*, 14(2), e076650.
- Kaluza J, Komatsu S, Lauriola M, Harris HR, Bergkvist L, Michaëlsson K, Wolk A (2021). Long-term consumption of non-fermented and fermented dairy products and risk of breast cancer by estrogen receptor status–Population-based prospective cohort study. *Clinical nutrition*, 40(4), 1966-1973.
- Karbownik MS, Mokros Ł, Dobielska M, Kowalczyk M, Kowalczyk E (2022). Association between consumption of fermented food and food-derived prebiotics with cognitive performance, depressive, and anxiety symptoms in psychiatrically healthy medical students under psychological stress: a prospective cohort study. *Frontiers in Nutrition*, 9, 850249.
- Katagiri R, Sawada N, Goto A, Yamaji T, Iwasaki M, Noda M, Tsugane S (2020). Association of soy and fermented soy product intake with total and cause specific mortality: prospective cohort study. *bmj*, 368.
- Khubber S, Marti-Quijal FJ, Tomasevic I, Remize F, Barba FJ (2022). Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and antioxidant compounds from food and by-products. *Current Opinion in Food Science*,
- Kim HY, Park ES, Choi YS, Park SJ, Kim JH, Chang HK, Park KY (2022). Kimchi improves irritable bowel syndrome: results of a randomized, double-blind placebo-controlled study. *Food & nutrition research*, 66.
- Kinoshita T, Maruyama K, Suyama K, Nishijima M, Akamatsu K, Jogamoto A, Saito I (2021). Consumption of OLL1073R-1 yogurt improves psychological quality of life in women healthcare workers: secondary analysis of a randomized controlled trial. *BMC gastroenterology*, 21, 1-8.
- Kishida R, Yamagishi K, Maruyama K, Okada C, Tanaka M, Ikeda A, Iso H (2023). Dietary intake of beans and risk of disabling dementia: The

- Circulatory Risk in Communities Study (CIRCS). *European Journal of Clinical Nutrition*, 77(1), 65-70.
- Kojima A, Ikehara S, Kamiya K, Kajita E, Sato Y, Kouda K, Iki M (2020). Natto intake is inversely associated with osteoporotic fracture risk in postmenopausal Japanese women. *The Journal of nutrition*, 150(3), 599-605.
- Lee W, Kwon MS, Yun YR, Choi H, Jung MJ, Hwang H, Hong SW (2024). Effects of kimchi consumption on body fat and intestinal microbiota in overweight participants: A randomized, double-blind, placebo-controlled, single-center clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 121, 106401.
- Li X, Zhao Z, Na L, Cui W, Che X, Chang J, Xue X (2024). Effect of Yogurt Intake Frequency on Blood Pressure: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Hypertension*, 2024(1), 8040917.
- Li XR, Liu CJ, Tang XD, Zhang HM, Luo YY, Zhang L, Yang E (2020). Gut Microbiota Alterations from Three-Strain Yogurt Formulation Treatments in Slow-Transit
- Lin P, Gui X, Liang Z, Wang T (2022). Association of yogurt and dietary supplements containing probiotic consumption with all-cause and cause-specific mortality in US adults: a population-based cohort study. *Frontiers in nutrition*, 9, 803076
- Luo X, Sui J, Birman BM, Ivey KL, Tabung FK, Wu Y, Zhang X (2021). Association between yogurt consumption and plasma soluble CD14 in two prospective cohorts of US adults. *European journal of nutrition*, 60, 929-938.
- Marco ML, Sanders ME, Gänzle M, Arrieta MC, Cotter PD, De Vuyst L, Hutkins R (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196-208.
- Masoumi SJ, Mehrabani D, Saberifiroozi M, Fattahi MR, Moradi F, Najafi M (2021). The effect of yogurt fortified with *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* sp. probiotic in patients with lactose intolerance. *Food Science & Nutrition*, 9(3), 1704-1711
- Meisel H (1998). Overview on milk protein-derived peptides. *International Dairy Journal*, 8(5-6), 363-373.

- Michels KB, Willett WC, Vaidya R, Zhang X, Giovannucci E (2020). Yogurt consumption and colorectal cancer incidence and mortality in the Nurses' Health Study and the Health Professionals Follow-Up Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 112(6), 1566-1575.
- Miquel S, Martin R, Rossi O, Bermúdez-Humarán LG, Chatel JM, Sokol H, Langella P (2013). Faecalibacterium prausnitzii and human intestinal health. *Current opinion in microbiology*, 16(3), 255-261.
- Mirjalili M, Sharif AS, Sangouni AA, Emtiazi H, Mozaffari-Khosravi H (2023). Effect of probiotic yogurt consumption on glycemic control and lipid profile in patients with type 2 diabetes mellitus: A randomized controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN*, 54, 144-149.
- Mitchell DA, de Lima Luz LF, Krieger N, Berović M (2011). Bioreactors for solid-state fermentation.
- Møller H, Heseltine E, Vainio H (1995). Working group report on schistosomes, liver flukes and Helicobacter pylori. Meeting held at IARC, Lyon, 7–14 June 1994. *International Journal of Cancer*, 60(5), 587-589.
- Mora-Villalobos JA, Montero-Zamora J, Barboza N, Rojas-Garbanzo C, Usaga J, Redondo-Solano M, López-Gómez JP (2020). Multi-product lactic acid bacteria fermentations: A review. *Fermentation*, 6(1), 23.
- Nakanishi A, Homma E, Osaki T, Sho R, Sourı M, Sato H, Konta T (2021). Association between milk and yogurt intake and mortality: a community-based cohort study (Yamagata study). *BMC nutrition*, 7, 1-7.
- Nambi VE, Chandrasekar V, Karthikeyan S (2017). Value addition of grains using solid state fermentation. *Nutr. Food Sci. Int. J*, 3(4), 555619.
- Nejati F, Rizzello CG, Di Cagno R, Sheikh-Zeinoddin M, Diviccaro A, Minervini F, Gobetti M (2013). Manufacture of a functional fermented milk enriched of Angiotensin-I Converting Enzyme (ACE)-inhibitory peptides and γ -amino butyric acid (GABA). *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 183-189.
- Odintsova V, Klimentko N, Tyakht A, Volokh O, Popov V, Alexeev D, Berezhnaya Y (2021). Yogurt fortified with vitamins and probiotics impacts the frequency of upper respiratory tract infections but not gut microbiome: A multicenter double-blind placebo controlled randomized study. *Journal of Functional Foods*, 83, 104572.

- Özer E, Kesenkaş H (2012). Propiyonik asit bakterilerinin izolasyonu ve tanımlanması. *Akademik Gıda*, 10(1), 92-96.
- Panahi S, Fernandez MA, Marette A, Tremblay A (2017). Yogurt, diet quality and lifestyle factors. *European journal of clinical nutrition*, 71(5), 573-579.
- Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical engineering journal*, 13(2-3), 81-84.
- Pannerchelvan S, Rios-Solis L, Wong FWF, Zaidan UH, Wasoh H, Mohamed MS, Halim M (2023). Strategies for improvement of gamma-aminobutyric acid (GABA) biosynthesis via lactic acid bacteria (LAB) fermentation. *Food & Function*, 14(9), 3929-3948.
- Park JM, Lee WH, Seo H, Oh JY, Lee DY, Kim SJ, Hahm KB (2021). Fecal microbiota changes with fermented kimchi intake regulated either formation or advancement of colon adenoma. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 68(2), 139-148.
- Pei R, Martin DA, DiMarco DM, Bolling BW (2017). Evidence for the effects of yogurt on gut health and obesity. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(8), 1569-1583.)
- Pettit RK (2009). Mixed fermentation for natural product drug discovery. *Applied microbiology and biotechnology*, 83(1), 19-25.
- Popović N, Brdarić E, Đokić J, Dinić M, Veljović K, Golić N, Terzić-Vidojević A (2020). Yogurt produced by novel natural starter cultures improves gut epithelial barrier in vitro. *Microorganisms*, 8(10), 1586.
- Pourrajab B, Fatahi S, Dehnad A, Varkaneh HK, Shidfar F (2020). The impact of probiotic yogurt consumption on lipid profiles in subjects with mild to moderate hypercholesterolemia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(1), 11-22.
- Ramires FA, Bavaro AR, D'Antuono I, Linsalata V, D'Amico L, Baruzzi F, Blevé G (2023). Liquid submerged fermentation by selected microbial strains for onion skins valorization and its effects on polyphenols. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10), 258.
- Rezac S, Kok CR, Heermann M, Hutkins R (2018). Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in microbiology*, 9, 1785.

- Richards LB, Li M, van Esch BC, Garssen J, Folkerts G (2016). The effects of short-chain fatty acids on the cardiovascular system. *PharmaNutrition*, 4(2), 68-111.
- Rifkin SB, Giardiello FM, Zhu X, Hyland LM, Ness RM, Drewes JL, Biofilm Study Consortium (2020). Yogurt consumption and colorectal polyps. *British Journal of Nutrition*, 124(1), 80-91
- Ross RP, Morgan S, Hill C (2002). Preservation and fermentation: past, present and future. *International journal of food microbiology*, 79(1-2), 3-16.
- Salas-Millán JÁ, Aznar A, Conesa E, Conesa-Bueno A, Aguayo E (2022). Functional food obtained from fermentation of broccoli by-products (stalk): Metagenomics profile and glucosinolate and phenolic compounds characterization by LC-ESI-QqQ-MS/MS. *LWT*, 169, 113915.
- Sandby K, Magkos F, Chabanova E, Petersen ET, Krarup T, Bertram HC, Geiker NR (2024). The effect of dairy products on liver fat and metabolic risk markers in males with abdominal obesity—a four-arm randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*, 43(2), 534-542.
- Schaechter M (2009). *Encyclopedia of microbiology*. Academic Press.
- Sellem L, Srouf B, Jackson KG, Hercberg S, Galan P, Kesse-Guyot E, Touvier M (2022). Consumption of dairy products and CVD risk: results from the French prospective cohort NutriNet-Santé. *British Journal of Nutrition*, 127(5), 752-762
- Šelo G, Planinić M, Tišma M, Tomas S, Koceva Komlenić D, Bucić-Kojić A (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927.
- Sharifan P, Rashidmayvan M, Khorasanchi Z, Darroudi S, Heidari A, Hoseinpoor F, Mobarhan MG (2022). Efficacy of low-fat milk and yogurt fortified with vitamin D3 on systemic inflammation in adults with abdominal obesity. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 41(1), 8.
- Sharma R, Garg P, Kumar P, Bhatia SK, Kulshrestha S (2020). Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods. *Fermentation*, 6(4), 106.
- Sheu BS, Wu JJ, Lo CY, Wu HW, Chen JH, Lin YS, Lin MD (2002). Impact of supplement with *Lactobacillus*-and *Bifidobacterium*-containing

- yogurt on triple therapy for *Helicobacter pylori* eradication. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 16(9), 1669-1675.)
- Shirabe R, Saito E, Sawada N, Ishihara J, Takachi R, Abe SK, JPHC Study Group (2021). Fermented and nonfermented soy foods and the risk of breast cancer in a Japanese population-based cohort study. *Cancer Medicine*, 10(2), 757-771.
- Siddiqui SA., Erol Z, Rugji J, Taşçı F, Kahraman HA, Toppi V, Castro-Muñoz R (2023). An overview of fermentation in the food industry-looking back from a new perspective. *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1), 85.
- Sivamaruthi BS, Kesika P, Chaiyasut C (2018). Toxins in fermented foods: prevalence and preventions—a mini review. *Toxins*, 11(1), 4.
- Struijk EA., Fung TT, Rodriguez-Artalejo F, Bischoff-Ferrari HA, Willett WC, Lopez-Garcia E (2024). Specific dairy foods and risk of frailty in older women: a prospective cohort study. *BMC medicine*, 22(1), 89.
- Sun W, Shahrajabian MH, Lin M (2022). Research progress of fermented functional foods and protein factory-microbial fermentation technology. *Fermentation*, 8(12), 688.
- Taghizadeh N, Sharifan P, Toosi MSE, Doust FNS, Darroudi S, Afshari A, Ghayour-Mobarhan M (2021). The effects of consuming a low-fat yogurt fortified with nano encapsulated vitamin D on serum pro-oxidant-antioxidant balance (PAB) in adults with metabolic syndrome; a randomized control trial. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 15(6), 102332.
- Taiwo AE, Tom-James A, Falowo OA, Okoji A, Adeyi O, Olalere AO, Eloka-Eboka A (2022). Techno-economic analysis of cellulase production by *Trichoderma reesei* in submerged fermentation processes using a process simulator. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 98-105.
- Tamang JP, Cotter PD, Endo A, Han NS, Kort R, Liu SQ, Hutkins R (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 184-217.
- Tan LJ, Yun YR, Hong SW, Shin S (2023). Effect of Kimchi intake on body weight of general community dwellers: a prospective cohort study. *Food & Function*, 14(4), 2162-2171.

- Tan T, Xiao D, Li Q, Zhong C, Hu W, Guo J, Yang N (2023). Maternal yogurt consumption during pregnancy and infantile eczema: a prospective cohort study. *Food & Function*, 14(4), 1929-1936.
- Tessier AJ, Presse N, Rahme E, Ferland G, Bherer L, Chevalier S (2021). Milk, yogurt, and cheese intake is positively associated with cognitive executive functions in older adults of the canadian longitudinal study on aging. *The Journals of Gerontology: Series A*, 76(12), 2223-2231.
- Thomas L, Larroche C, Pandey A (2013). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 81, 146-161.
- Ting Wong CG, Bottiglieri T, Snead III OC (2003). Gaba, γ -hydroxybutyric acid, and neurological disease. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 54(S6), S3-S12.
- Toshimitsu T, Gotou A, Sashihara T, Furuichi K, Hachimura S, Shioya N, Asami Y (2021). Ingesting yogurt containing *Lactobacillus plantarum* OLL2712 reduces abdominal fat accumulation and chronic inflammation in overweight adults in a randomized placebo-controlled trial. *Current developments in nutrition*, 5(2), nzab006.
- Tsuchiya M, Tsuchiya S, Momma H, Ikeda R, Suzuki J, Nagatomi R, Igarashi K (2024). Impact of Habitual Yogurt Intake in Mother–Child Dyads on Incidence of Childhood Otitis Media: The Japan Environment and Children’s Study (JECS). *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 16(3), 884-893.
- Voidarou C, Antoniadou M, Rozos G, Tzora A, Skoufos I, Varzakas T, Bezirtoglou E (2020). Fermentative foods: Microbiology, biochemistry, potential human health benefits and public health issues. *Foods*, 10(1), 69.
- Wade AT, Guenther BA, Ahmed FS, Elias MF (2021). Higher yogurt intake is associated with lower blood pressure in hypertensive individuals: Cross-sectional findings from the Maine–Syracuse longitudinal study. *International dairy journal*, 122, 105159.
- Walker GM, Stewart GG (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, 2(4), 30.
- Westerik N, Nelson A, Wacoo AP, Sybesma W, Kort R (2020). A comparative interrupted times series on the health impact of probiotic yogurt

- consumption among school children from three to six years old in Southwest Uganda. *Frontiers in nutrition*, 7, 574-792.
- Xu L, Wang Y, Wu Z, Deng S (2021). Salivary microbial community İ0*İ6teeth. *Archives of Microbiology*, 203, 3045-3053.
- Yafetto L (2022). Application of solid-state fermentation by microbial biotechnology for bioprocessing of agro-industrial wastes from 1970 to 2020: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, 8(3).
- Yafetto L, Odamtten GT, Adu SK, Ekloh E (2019). The biotechnological potential of using mono-and co-cultures of *Aspergillus niger* van Tieghem and *Trichoderma viride* Pers ex Fr. to enhance the protein content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) peels by solid substrate fermentation. *Studies in Fungi*, 4(1), 111-122.
- Yang RZ, Lin SZ, Xie XY, Tang YJ, Zheng JX, Yuan CM, Zeng K (2024). Association between yogurt and dietary supplements containing probiotic consumption with sleep disturbance in US adults: Results from NHANES, 2009–2018. *Heliyon*, 10(15).
- Yu S, Song J, Hu T, Wang J, Liu X, Zheng Y, Wang M (2022). Unraveling the core functional bacteria and their succession throughout three fermentation stages of broad bean paste with chili. *Food Science and Human Wellness*, 11(4), 874-885.
- Zhang C, Yang H, Yang F, Ma Y (2009). Current progress on butyric acid production by fermentation. *Current microbiology*, 59, 656-663.
- Zhang F, Miao F, Wang X, Lu W, Ma C (2021). Effects of homo-and heterofermentative lactic acid bacteria on the quality and aerobic stability of corn silage. *Canadian Journal of Animal Science*, 101(4), 761-770.
- Zhao S, Feng P, Hu X, Cao W, Liu P, Han H, Li X (2022). Probiotic *Limosilactobacillus fermentum* GR-3 ameliorates human hyperuricemia via degrading and promoting excretion of uric acid. *Iscience*, 25(10).
- Zhu H, Cao C, Wu Z, Zhang H, Sun Z, Wang M, Zeng R (2021). The probiotic *L. casei* Zhang slows the progression of acute and chronic kidney disease. *Cell metabolism*, 33(10), 1926-1942.

BÖLÜM 6

ASPARTAM VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17871011>

¹ Uşak Üniversitesi, Eşme Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gıda Teknolojisi Programı, Uşak, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-0319-6454>, zeynep.karakus@usak.edu.tr

GİRİŞ

Aspartam, düşük kalorili yoğun tatlandırma kapasitesi nedeniyle dünya genelinde en yaygın kullanılan yapay tatlandırıcılardan biridir ve pek çok gıda ve içecekte yer almaktadır (Glória, 2003). Sakkarin (Saccharin) gibi önceki tatlandırıcılara göre 200–300 kat daha tatlı olması, daha ekonomik üretimi ve düşük kalori içeriği aspartamın popüleritesini artırmıştır (Choudhary ve Pretorius, 2017; Ellwein ve Cohen, 1990). Tarihsel olarak tatlandırıcıların güvenliğine ilişkin tartışmalar—sakkarinin yasaklanması, siklamat (cyclamate)’in Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen (Generally Recognized As Safe, GRAS) statüsünün kaldırılması—aspartamın da benzer biçimde yoğun incelemeye tabi tutulmasına zemin hazırlamıştır.

1965’te tesadüfen keşfedilen aspartam, iki amino asit ve bir metil esterden oluşan sentetik bir bileşiktir; metabolize edildiğinde amino asitlere ve metanole dönüşür. Bileşenleri doğal olsa da birleşik formunun güvenliği uzun süredir tartışma konusudur. Güvenlik değerlendirmelerinde geçmişte hatalı veya eksik tasarlanan çalışmaların bulunması, düzenleyici kurumların süreçlerini etkileyen önemli bir unsur olmuştur (Nill, 2000). Buna karşın ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) aspartamı onaylamış, ürün sayısı günümüzde 5000’in üzerine çıkmış, yıllık üretim hacmi ve pazar değeri de istikrarlı biçimde artmıştır (Landrigan ve Straif, 2021).

Son yıllarda yapay tatlandırıcıların sağlık etkilerine yönelik ilgi artmış, bazı çalışmalar uzun dönem aspartam tüketimi ile kanser riskinin artabileceğini öne sürmüştür (Nill, 2000). Ramazzini Enstitüsü’nün deneysel çalışmaları, Kabul Edilebilir Günlük Alım (Acceptable Daily Intake, ADI) seviyelerine yakın dozlarda lenfoma, lösemi ve böbrek tümörlerinde doza bağlı artışlar göstermiş; prenatal maruziyetlerin daha duyarlı olduğu bildirilmiştir (Landrigan ve Straif, 2021). Ayrıca ağ temelli toksikoloji analizleri, aspartamın AKT1, MMP9 ve CASP3 gibi kanserle ilişkili proteinlere yüksek afiniteyle bağlanabildiğini göstermektedir (Chen ve Hou, 2024). Bununla birlikte bazı araştırmalar bu ilişkiye dair herhangi bir kanıt bulmamıştır. VOSviewer yazılımıyla görselleştirilen Aspartam araştırma alanlarının ağ yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir.

iştah, kalori alımı, diyabet ve beslenme davranışı gibi kavramlar ise aspartamın metabolik kontrol, enerji dengesi ve beslenme psikolojisi ile ilişkili yönlerine işaret etmektedir. Bu çok renkli yapı, aspartam araştırmalarının kimyadan gıda teknolojisine, klinik bilimlerden beslenme ve davranış araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede yürütüldüğünü ve literatürün güçlü derecede multidisipliner bir karakter taşıdığını ortaya koymaktadır.

Düzenleyici kurumlar (FDA, EFSA, vb.), mevcut kanıtların aspartamın belirlenen limitler içinde güvenli olduğunu gösterdiğini savunmakla birlikte (Aspartame_ Decades of Science Point to Serious Health Risks, 2025) bazı çalışmaların ADI düzeylerine yakın dozlarda hematolojik malignite artışı bildirmesi tartışmaları sürdürmektedir (Landrigan ve Straif, 2021). Olası kanserojen mekanizmalar arasında aspartam metabolizmasından oluşan formaldehitin DNA ve proteinlerle reaksiyonu, oksidatif stres artışı ve hücrel sinyal yollarında bozulmalar öne çıkmaktadır (*Aspartame_ Decades of science point to serious health risks*, 2025; Nill, 2000). Prenatal maruziyetlerin hücrel değişim süreçlerini başlatabileceği de belirtilmektedir (*Aspartame_ Decades of science point to serious health risks*, 2025).

Bu nedenle, aspartamın olası kanserojen etkilerine ilişkin çelişkili bulgular göz önünde bulundurulduğunda, mekanizmaların ve uzun dönemli sağlık etkilerinin daha net anlaşılabilmesi için ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölüm, mevcut moleküler ve toksikolojik verileri ele alarak aspartamın olası karsinogenik rolünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

1. ASPARTAMIN HALK SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aspartam, diyet kolalar (ör. Diet Coke ve Diet Pepsi), şekeriz sakızlar, tablet tatlandırıcılar ve farmasötik formülasyonlar da dahil olmak üzere 6000'den fazla ticari gıda ve içeceklerde küresel olarak kullanılmaktadır (Aspartame_ Decades of science point to serious health risks, 2025; Shaher ve ark., 2023). Aspartamın popülerliği, sükrözden yaklaşık 200 kat daha tatlı olmasına rağmen ihmal edilebilir kalori içeriğine sahip olmasından kaynaklanır; bu da onu kilo yönetimi ve glisemik kontrol hedefleyen bireyler için yaygın bir şeker alternatifi haline getirir (Aspartame_ Decades of science point to serious health risks, 2025; Choudhary ve Pretorius, 2017).

Aspartamın düşük kalorili yapısı artan obezite oranları bağlamında potansiyel faydalar sunsa da uzun vadeli güvenliği tartışmalıdır. Bazı randomize çalışmalar, aspartam gibi besleyici olmayan tatlandırıcılarla şekerin değiştirilmesinin hafif kilo kaybı ve azalmış kalori alımı sağlayabileceğini göstermiştir (Liauchonak ve ark., 2019). Buna karşılık, bazı araştırmalar bu tatlandırıcıların iştahı artırabileceğini veya metabolik düzensizliğe katkıda bulunabileceğini öne sürmektedir (Kossiva ve ark., 2024; Naik ve ark., 2023). Bir dizi gözlemsel ve deneysel çalışma, aspartam tüketimini metabolik, kardiyovasküler ve gastrointestinal sonuçlarla ilişkilendirmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Aspartamın Halk Sağlığı Üzerindeki Etkilerine İlişkin Çalışmaların ve Düzenleyici Kurum Görüşlerinin Özeti.

Çalışma Türü	Bölge	Etki Mekanizması	Sağlık Riski	Kaynaklar
Derleme Genel kaynaklar	/ Global	Düşük kalorili alım; kalori içeriği ihmal edilebilir düzeyde olan tatlı lezzet	Obezite yönetimi, şekere güvenli bir alternatif	(Guy, 2014; Shaher ve ark., 2023)
IARC tarafından kanserojen sınıflandırması	Uluslararası (Dünya Sağlık Örgütü, WHO)	Olası kanserojen mekanizmalar; ancak kanıt sınırlı	Kanser (Grup 2B — insanlar için olası kanserojen)	(Mayo Clinic Expert Weighs in on WHO Labeling Aspartame Sweetener as Low, but Possible, Cancer Risk - Mayo Clinic News Network, n.d.)

Gözlemsel kohort çalışması (NutriNet-Santé)	Fransa	Diyet kayıtlarının kullanıldığı ilişki analizi	Kardiyovasküler ve serebrovasküler hastalık riskinde artış	(Debras ve ark., 2022)
Deneyssel ve gözlemsel çalışmalar	Çeşitli bölgeler (ABD, Avrupa dahil)	Sefalık yanıtın bozulması; insülin/inkretin hormonlarının modülasyonu; değişmiş bağırsak mikrobiyotası	İnsülin direnci, NAFLD, hepatotoksisite, gastrointestinal sorunlar	(Griebsch ve ark., 2023; Liauchonak ve ark., 2019; Naik ve ark., 2023)

Metabolik açıdan, aspartam genellikle tokluk sonrası glukoz ve insülin seviyeleri üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu için diyabetik diyetlerde yaygın olarak tercih edilir (Choudhary ve Pretorius, 2017; Guy, 2014). Bununla birlikte, çeşitli çalışmalar aspartamın metabolik güvenliğini sorgulamaktadır. Örneğin, 2022’de Debras ve arkadaşları, 100.000’den fazla Fransız yetişkinin yer aldığı bir kohort çalışmasında, yüksek aspartam tüketimi ile kardiyovasküler olay riskinde artış arasında anlamlı bir ilişki bildirmiştir; bu ilişki özellikle tüketim, tipik diyet seviyelerinin üzerine çıktığında belirginleşmiştir (Debras ve ark., 2022).

Ayrıca gözlemsel veriler, yapay tatlandırıcılar—özellikle aspartam—ile insülin direnci ve alkole bağlı olmayan yağlı karaciğer hastalığı (NAFLD) riskinde artış arasında bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Bu etkinin, bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler ve inkretin sinyallemedeki bozulmalar aracılığıyla gerçekleşebileceği düşünülmektedir (Kossiva ve ark., 2024; Liauchonak ve ark., 2019). Deneyssel modellerde de aspartam alımını takiben hepatotoksisite ve oksidatif stres yanıtları bildirilmiştir (Griebsch ve ark., 2023; Naik ve ark., 2023).

Şişkinlik ve bulantı gibi gastrointestinal semptomlar, yapay tatlandırıcı içeren ürünleri tüketen kişiler tarafından sıkça bildirilmektedir. Klinik çalışmalar bu semptomların tutarsız veya anekdot niteliğinde olduğunu öne sürse de hayvan ve in vitro çalışmalar bu mekanizmaların biyolojik olarak olası olduğunu giderek daha fazla desteklemektedir (Griebsch ve ark., 2023; Liauchonak ve ark., 2019). Devam eden tartışmalara rağmen, ABD Gıda ve

İlaç Dairesi (FDA) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) gibi düzenleyici kurumlar, aspartamın belirlenen Kabul Edilebilir Günlük Alım (ADI) değerleri içinde tüketildiğinde insanlar için güvenli olduğunu belirtmektedir:

- ABD: 50 mg/kg vücut ağırlığı/gün,
- AB: 40 mg/kg vücut ağırlığı/gün (Griebsch ve ark., 2023; Naik ve ark., 2023b).

FDA'ya göre, 70 kg'lık bir yetişkinin bu sınırı aşması için günde 10–14 kutudan fazla diyet kola tüketmesi gerekir (Mayo Clinic Expert Weighs in on WHO Labeling Aspartame Sweetener as Low, but Possible, Cancer Risk - Mayo Clinic News Network, 2025). Bununla birlikte, bu eşiklerde veya daha düşük seviyelerde ortaya çıkan olumsuz etkiler—özellikle hassas popülasyonlarda veya kronik maruziyet altında—Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) gibi kuruluşların aspartamı yakın incelemeye almasına yol açmıştır. IARC, yakın zamanda aspartamı “insanlar için muhtemelen kanserojen” (Grup 2B) olarak sınıflandırmıştır (Mayo Clinic expert weighs in on WHO labeling aspartame sweetener as low, but possible, cancer risk - Mayo Clinic News Network, 2025).

Sonuç olarak, aspartam yaygın olarak kullanılmaya ve başlıca düzenleyici kurumlar tarafından onaylanmaya devam etse de metabolik, hepatik, kardiyovasküler ve gastrointestinal etkilerine yönelik endişeler iyi tasarlanmış, uzun süreli insan çalışmalarında daha kapsamlı şekilde araştırılmalıdır.

2. KANSEROJENLİK ÇALIŞMALARI VE METODOLOJİLERİ

Aspartamın olası kanserojenliği, çeşitli *in vitro*, *in vivo* ve epidemiyolojik çalışmalar ile uzun süredir araştırılmaktadır. Erken dönem hayvan çalışmalarında Searle tarafından yapılan araştırmalar, aspartam maruziyetinin özellikle lenfoma ve lösemi insidansını artırabileceğini bildirmiştir (Soffritti ve ark., 2006; Soffritti ve ark., 2007). Ramazzini Vakfı'nın çalışmalarında da embriyonik dönemden itibaren maruz bırakılan sıçanlarda bu tümörlerin daha sık görüldüğü rapor edilmiştir (Soffritti ve ark., 2006). Ancak EFSA'nın 2013 kapsamlı incelemesi ve Ulusal Toksikoloji Programı (National Toxicology Program)'nın 2005 raporu, bu bulguların

insanlar için geçerli bir kanıt sunmadığını ve kanserle ilişki bulunamadığını belirtmiştir (Additives, 2013).

Aspartamın olası kanserojenliğine yönelik hipotezler büyük ölçüde metabolitlerinden kaynaklanmaktadır. Aspartamın metabolizması sonucunda ortaya çıkan formaldehit, bilinen bir kanserojen olup, kronik maruziyetin DNA hasarı ve hücresel bozulma ile ilişkili olabileceği öne sürülmüştür (McGhee ve Von Hippel, 1977; Pontel ve ark., 2015). Ancak bu mekanizmanın insan modellerinde doğrulanması halen yetersizdir.

Diğer bir metabolit olan fenilalanin, oksidatif stres ve Reaktif Oksijen Türleri (Reactive Oxygen Species, ROS) oluşumu yoluyla DNA hasarı ve hücre proliferasyonunu artırarak tümör gelişimine katkıda bulunabileceği yönünde değerlendirilmiştir (Additives, 2013; Riboli ve ark., 2023; Saleh ve ark., 2023). Benzer şekilde, aspartamın dönüşümüyle oluşan metanol ve formik asit, bazı çalışmalarda hücresel toksisite ve eritrositlerde sitogenetik hasarla ilişkilendirilmiştir (Saleh ve ark., 2023). Buna karşın diğer araştırmalar bu ilişkiyi desteklememektedir; dolayısıyla bulgular çelişkilidir.

Aspartamın memeli hücreleri üzerindeki etkilerine dair çalışmalar da tutarsızdır. Bazı araştırmalar yüksek dozlarda kromozomal anormalliklerde artış bildirmiştir (McGhee ve Von Hippel, 1977), ancak diğer çalışmalarda kemik iliğinde mikronükleus oluşumunda artış gözlenmemiştir (Soffritti ve ark., 2007). Buna karşılık, bazı *in vivo* çalışmalar Swiss albino farelerinde mikronükleus artışı ve kromozomal hasar göstermiştir (Soffritti ve ark., 2006). Ramazzini Enstitüsü çalışmaları ayrıca doz-yanıt ilişkisinin varlığını ve prenatal maruziyetin duyarlılığı artırdığını bildirmiştir (Soffritti ve ark., 2006). Landrigan ve ark. bu ilişkinin insanlarda da geçerli olabileceğini öne sürerken (Landrigan ve Straif, 2021), Magnuson ve ark. aspartam tüketiminin ADI değerlerinin çok altında olduğunu ve kanser riskinin düşük olduğunu belirtmiştir (Magnuson ve ark., 2007).

Epidemiyolojik çalışmalar da benzer şekilde karışık sonuçlar vermiştir. Bazı araştırmalar yüksek aspartam tüketimi ile kanser oranlarının artabileceğini bildirmiştir (Debras ve ark., 2022). *İn vitro* çalışmalar da yüksek dozlarda sitotoksisite ve anjiyogenezi artırma potansiyeli göstermiştir (Alleva ve ark., 2011). Debras ve ark. tarafından 2022'de yürütülen geniş kapsamlı kohort çalışması, toplam yapay tatlandırıcı ve aspartam alımının hem genel kanser riskini (HR=1.15) hem de özellikle meme kanseri ve obezite ilişkili

kanserleri artırabileceğini ileri sürmüştür (Debras ve ark, 2022). Ancak çalışmanın gözlemsel yapısı kesin nedensellik kurmaya izin vermemektedir (Landrigan ve Straif, 2021).

Öte yandan Guercio ve ark. yapay tatlandırılmış içecek tüketiminin kolon kanseri rekürrensiyle ilişkili olmadığını, hatta düşüş gösterebileceğini bildirmiştir (Guercio ve ark, 2018). IARC, mevcut kanıtları yetersiz olarak sınıflandırmış, sadece hepatoselüler karsinom (HCC) için sınırlı kanıt olduğunu belirtmiştir (Stepien ve ark, 2016). EFSA ise bazı çalışmaların bildirdiği kromozomal anormalliklerin doğrudan genotoksikite değil, ikincil sitotoksik etkiler olabileceğini vurgulamıştır (Additives, 2013).

Genel olarak hem *in vitro* hem de *in vivo* çalışmalar aspartamın potansiyel genotoksik ve kanserojen etkilerini araştırmakla birlikte, sonuçlar tutarsız ve kesinlikten uzaktır. Mevcut kanıtlar aspartamın kanserojen veya genotoksik olduğunu kesin olarak göstermemektedir. Bu nedenle aspartamın olası kanserojen rolünün netleşmesi için daha kapsamlı ve metodolojik olarak güçlü araştırmalara ihtiyaç vardır.

3. SİSTEMİK ETKİLER

3.1 Metabolik etkiler ve kilo/glikoz regülasyonu

Epidemiyolojik ve deneysel çalışmalar, yapay tatlandırıcı kullanımının insülin duyarlılığı, glukoz regülasyonu ve vücut ağırlığı üzerinde nötr veya olumsuz etkiler gösterebileceğini ileri sürmüştür. Bazı çalışmalar tatlandırıcıların iştah, tat tercihleri ve dolayısıyla enerji alımını değiştirerek uzun vadede kilo artışına katkı sağlayabileceğini öne sürer; ancak bunlar korelasyonel bulgulardır (Choudhary ve Pretorius, 2017; Guy, 2014).

3.2 Nörotoksikite ve nöropsikiyatrik etkiler

İnsan çalışmaları sınırlıdır; bazı raporlar baş ağrısı, baş dönmesi veya nöropsikiyatrik semptomlarla ilişkilendirilme iddiası taşısa da konsolide kanıt yoktur. Hayvan çalışmaları nörolojik fonksiyon ve davranışta değişiklikler gösterse de bunların insan maruziyetiyle anlamlı ilişkisi belirsizdir. Fenilketonüri (PKU) olan bireylerde fenilalanin içeriği nedeniyle aspartamın kontrendike olduğu uzun süredir bilinen bir durumdur (Nill, 2000; Shaher ve ark., 2023).

3.3 Üreme ve gelişimsel etkiler

Bazı hayvan çalışmalarında yüksek dozlarda üreme parametreleri ve gelişim üzerinde etkiler rapor edilmiştir; ancak insan çalışmaları sınırlı ve çelişkilidir. Yapılan çalışmalar, insan üreme sağlığı için kanıtların yetersiz olduğunu vurgulamaktadır (Naik ve ark., 2023).

3.4 Bağışıklık / inflamasyon

In vitro ve hayvan modellerinde aspartam veya metabolitlerinin proinflamatuvar yanıt oluşturabileceğine dair sınırlı kanıtlar vardır; klinik açıdan anlamlı sonuçlar netleşmemiştir (Riboli ve ark., 2023).

3.5 Bağırsak mikrobiyomu

Yapay tatlandırıcıların mikrobiyota üzerindeki etkileri son yıllarda dikkat çeken bir alandır. Bazı hayvan ve daha az sayıda insan çalışması, mikrobiyal topluluk kompozisyonunda değişiklikler ve buna bağlı metabolik etkiler olabileceğini göstermiştir; bulgular henüz tutarlı ve nedensel değildir. Bu konu hakkında, daha kontrollü insan çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Riboli ve ark., 2023).

4. DÜZENLEYİCİ DEĞERLENDİRME VE GÜVENLİK EŞİK DEĞERLERİ

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı'nın (IARC), 2023 yılında yaptığı bilimsel değerlendirmede, aspartamı Grup 2B (muhtemel/olası) olarak sınıflandırmıştır; aynı zamanda FAO/WHO Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA) ve birçok gıda otoritesi ADI'yi 0–40 mg/kg/gün olarak teyit etmiştir. FDA, EFSA ve diğer otoriteler aspartamın onaylı koşullar altında kullanımının güvenli olduğu görüşünü korumuştur, fakat IARC raporu daha fazla araştırma yapılması çağrısı yapmıştır. Bu ikili durum —hazard (IARC) vs. risk (JECFA/FDA)- düzenleyici iletişimde kafa karışıklığına yol açmıştır: IARC hazard (tehlike) bildirirken JECFA risk (maruziyet ve doz) perspektifiyle ADI'yi korumuştur (Aspartame Hazard and Risk Assessment Results Released – IARC, 2025).

5. SINIRLILIKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Mevcut bulguların yorumlanması, çalışma tasarımlarındaki önemli farklılıklar nedeniyle kısıtlanmaktadır. Bu farklılıklar; kullanılan model sistemleri (hayvan vs. insan), doz seviyeleri, maruziyet süresi ve metodolojik

titizlik gibi unsurları kapsamaktadır. Ayrıca, hayvan çalışmalarında kullanılan yüksek dozların tipik insan tüketimine uyarlanması halen önemli bir zorluktur. Bu sınırlılıklar, aspartamla ilişkili sağlık risklerini daha doğru değerlendirmek için iyi kontrollü, uzun süreli insan çalışmalarına olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Aspartamın güvenlik profili ve potansiyel kanserojen etkilerine ilişkin mevcut tartışmaların çözümlenebilmesi için gelecekteki araştırmaların geniş ölçekli, uzunlamasına yürütülen insan çalışmalarına öncelik vermesi gerekmektedir. Bu çalışmaların güçlü besin tüketim takibi ve biyobelirteç analizleri içermesi kritik öneme sahiptir. Genomik, metabolomik ve mikrobiyomik gibi teknolojilerin entegrasyonu, aspartamın insan metabolizması, bağışıklık fonksiyonu ve gen ekspresyonu ile nasıl etkileşime girdiğine dair daha derin mekanistik bilgiler sağlayabilir. Ayrıca, çalışmalarda standartlaştırılmış deneysel protokoller ve uyumlu maruziyet ölçütlerinin kullanılması, tekrar edilebilirlik ve karşılaştırılabilirliği artırmak açısından gereklidir. Düzenleyici kurumlar, akademik kuruluşlar ve bağımsız araştırma kurumları arasındaki işbirlikçi çabalar, belirsizliklerin giderilmesi ve kanıta dayalı halk sağlığı önerilerinin geliştirilmesinde kilit rol oynayacaktır.

6. SONUÇLAR

Özetle, bu bölümde aspartam ile karsinogenez arasındaki olası ilişki incelenmiştir. Bazı çalışmalar bir bağlantı olabileceğini öne sürse de genel kanıtlar hâlen kesin değildir. Oksidatif stres ve lipid peroksidasyonundan immün baskılanma ve epigenetik modülasyona kadar uzanan incelenen mekanizmalar, aspartamın insan fizyolojisi ile etkileşiminin karmaşıklığını ortaya koymaktadır. Düzenleyici kuruluşlar, belirlenmiş alım sınırları içinde aspartamın güvenli olduğunu belirtmeye devam etmekte; ancak süregelen bilimsel tartışmalar, daha ileri araştırmaların önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

- Additives, E. P. F. (2013). Scientific Opinion on the re-evaluation of aspartame (E 951) as a food additive. *Efsa Journal*, 11(12), 3496.
- Alleva, R., Borghi, B., Santarelli, L., Strafella, E., Carbonari, D., Bracci, M., & Tomasetti, M. (2011). In vitro effect of aspartame in angiogenesis induction. *Toxicology in Vitro*, 25(1), 286–293.
- Aspartame hazard and risk assessment results released – IARC. Retrieved November 27, 2025, from https://www.iarc.who.int/news-events/aspartame-hazard-and-risk-assessment-results-released/?utm_source=chatgpt.com
- Chen, D., & Hou, X. (2024). Aspartame carcinogenic potential revealed through network toxicology and molecular docking insights. *Scientific Reports*, 14(1), 11492.
- Choudhary, A. K., & Pretorius, E. (2017). Revisiting the safety of aspartame. *Nutrition Reviews*, 75(9), 718–730.
- Debras, C., Chazelas, E., Srouf, B., Druet-Pecollo, N., Esseddik, Y., de Edelenyi, F. S., Agaësse, C., De Sa, A., Luchini, R., & Gigandet, S. (2022). Artificial sweeteners and cancer risk: Results from the NutriNet-Santé population-based cohort study. *PLoS Medicine*, 19(3), e1003950.
- Ellwein, L. B., & Cohen, S. M. (1990). The health risks of saccharin revisited. *Critical Reviews in Toxicology*, 20(5), 311–326.
- Glória, M. B. A. (2003). *Aspartame*.
- Griebsch, L. V., Theiss, E. L., Janitschke, D., Erhardt, V. K. J., Erhardt, T., Haas, E. C., Kuppler, K. N., Radermacher, J., Walzer, O., & Lauer, A. A. (2023). Aspartame and its metabolites cause oxidative stress and mitochondrial and lipid alterations in SH-SY5Y cells. *Nutrients*, 15(6), 1467.
- Guercio, B. J., Zhang, S., Niedzwiecki, D., Li, Y., Babic, A., Morales-Oyarvide, V., Saltz, L. B., Mayer, R. J., Mowat, R. B., & Whittom, R. (2018). Associations of artificially sweetened beverage intake with disease recurrence and mortality in stage III colon cancer: Results from CALGB 89803 (Alliance). *PloS One*, 13(7), e0199244.
- Guy, R. C. (2014). *Aspartame*. *Encyclopedia of Toxicology: 1* (330), 330–331.

- Kossiva, L., Kakleas, K., Christodouli, F., Soldatou, A., Karanasios, S., & Karavanaki, K. (2024). Chronic use of artificial sweeteners: pros and cons. *Nutrients*, 16(18), 3162.
- Landrigan, P. J., & Straif, K. (2021). Aspartame and cancer—new evidence for causation. *Environmental Health*, 20(1), 42.
- Liauchonak, I., Qorri, B., Dawoud, F., Riat, Y., & Szewczuk, M. R. (2019). Non-nutritive sweeteners and their implications on the development of metabolic syndrome. *Nutrients*, 11(3), 644.
- Magnuson, B. A., Burdock, G., Doull, J., Kroes, R. M., Marsh, G. M., Pariza, M. W., Spencer, P. S., Waddell, W. J., Walker, R., & Williams, G. M. (2007). Aspartame: a safety evaluation based on current use levels, regulations, and toxicological and epidemiological studies. *Critical Reviews in Toxicology*, 37(8), 629–727.
- Mayo Clinic expert weighs in on WHO labeling aspartame sweetener as low, but possible, cancer risk - Mayo Clinic News Network. (n.d.-b). Retrieved November 27, 2025, from <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/mayo-clinic-expert-weighs-in-on-who-labeling-aspartame-sweetener-as-low-but-possible-cancer-risk/>
- McGhee, J. D., & Von Hippel, P. H. (1977a). Formaldehyde as a probe of DNA structure. 3. Equilibrium denaturation of DNA and synthetic polynucleotides. *Biochemistry*, 16(15), 3267–3276.
- Naik, A. Q., Zafar, T., & Shrivastava, V. K. (2023a). The impact of non-caloric artificial sweetener aspartame on female reproductive system in mice model. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 21(1), 73.
- Nill, A. G. (2000). *The history of aspartame*.
- Pontel, L. B., Rosado, I. V, Burgos-Barragan, G., Garaycochea, J. I., Yu, R., Arends, M. J., Chandrasekaran, G., Broecker, V., Wei, W., & Liu, L. (2015). Endogenous formaldehyde is a hematopoietic stem cell genotoxin and metabolic carcinogen. *Molecular Cell*, 60(1), 177–188.
- Riboli, E., Beland, F. A., Lachenmeier, D. W., Marques, M. M., Phillips, D. H., Schernhammer, E., Afghan, A., Assunção, R., Caderni, G., & Corton, J. C. (2023). Carcinogenicity of aspartame, methyleugenol, and isoeugenol. *The Lancet Oncology*, 24(8), 848–850.

- Saleh, E. A. M., Al-Dolaimy, F., Baymakov, S., Ullah, M. I., Khlewee, I. H., Bisht, Y. S., & Alsaalamy, A. H. (2023). Oxidative stress affects the beginning of the growth of cancer cells through a variety of routes. *Pathology-Research and Practice*, 249, 154664.
- Shaher, S. A. A., Mihailescu, D. F., & Amuzescu, B. (2023). Aspartame safety as a food sweetener and related health hazards. *Nutrients*, 15(16), 3627.
- Soffritti, M., Belpoggi, F., Degli Esposti, D., & Lambertini, L. (2006). Results of a long-term carcinogenicity bioassay on Sprague-Dawley rats exposed to sodium arsenite administered in drinking water. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1076(1), 578–591.
- Soffritti, M., Belpoggi, F., Esposti, D. D., Lambertini, L., Tibaldi, E., & Rigano, A. (2006). First experimental demonstration of the multipotential carcinogenic effects of aspartame administered in the feed to Sprague-Dawley rats. *Environmental Health Perspectives*, 114(3), 379–385.
- Soffritti, M., Belpoggi, F., Tibaldi, E., Esposti, D. D., & Lauriola, M. (2007). Life-span exposure to low doses of aspartame beginning during prenatal life increases cancer effects in rats. *Environmental Health Perspectives*, 115(9), 1293–1297.
- Stepien, M., Duarte-Salles, T., Fedirko, V., Trichopoulou, A., Lagiou, P., Bamia, C., Overvad, K., Tjønneland, A., Hansen, L., & Boutron-Ruault, M.-C. (2016). Consumption of soft drinks and juices and risk of liver and biliary tract cancers in a European cohort. *European Journal of Nutrition*, 55(1), 7–20.

BÖLÜM 7

KATEŞİN

Öğr. Gör. Mustafa ATALAN¹

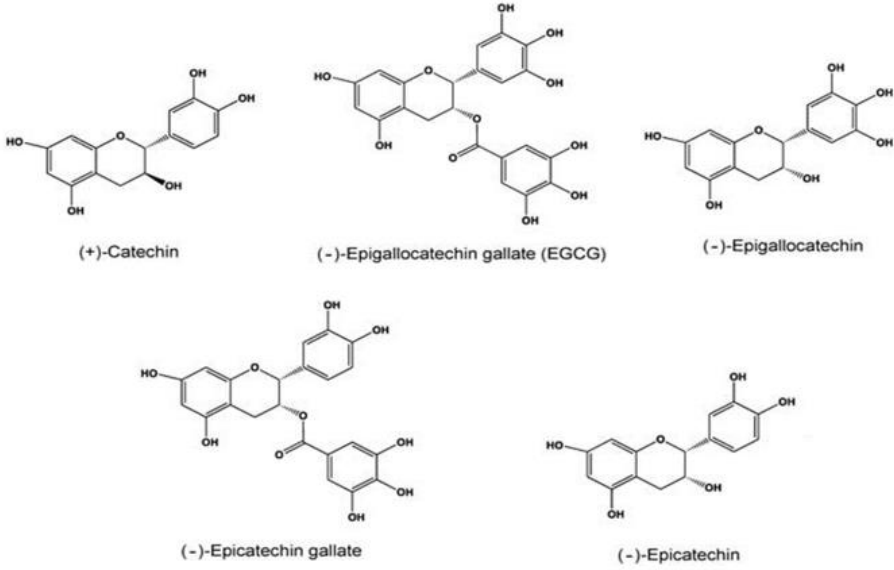
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17871194>

¹ Uşak Üniversitesi, Eşme Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Uşak, Türkiye. mustafa.atalan@usak.edu.tr. Orcid ID: 0000-0001-8543-6951

GİRİŞ

Kateşinler, flavonoid ailesine (özellikle flavan-3-oller veya flavanoller) ait doğal polifenolik bileşiklerdir. Bu bileşikler, adlarını Cutch ağacından (*Acacia catechu* Lf.) alır ve çeşitli meyve, sebze ve bitki bazlı içeceklerde (özellikle çayda) bol miktarda bulunurlar (Braicu ve ark., 2013). Kateşinler, taze çay yaprakları, *Cistus* türleri (kaya gülü yaprakları), bakla (*Vicia faba*), kırmızı şarap, siyah üzüm (*Vitis vinifera*), çilek (*Fragaria*) ve kayısı (*Prunus armeniaca*) gibi çeşitli gıda maddelerinde yüksek konsantrasyonlarda tespit edilebilen önemli flavonoid bileşikleridir. Epikateşin bileşiği ise elma (*Malus domestica*), böğürtlen (*Rubus* spp.), bakla (*Vicia faba*), kiraz (*Prunus avium*), siyah üzüm (*Vitis vinifera*), armut (*Pyrus* spp.), ahududu (*Rubus idaeus*) ve çikolata gibi ürünlerin zengin kaynakları arasında yer almaktadır (Cabrera ve ark., 2006). Yeşil çay (*Camellia sinensis*), kateşinler için temel bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yakın dönemde yayımlanan yeşil çay monografisi ile bu ürün Avrupa Farmakopesi'ne dahil edilmiş ve farmakope kapsamında standardizasyonu sağlanmıştır. Bu standardizasyon, kafein içeriğinin en az %1,5 olmasını ve toplam kateşin miktarının ise (-)-epigallokateşin-3-O-gallat bazında en az %8 düzeyinde bulunmasını gerektirmektedir (Bernatoniene ve Kopustinskiene, 2018). Kateşin, epikateşin ve epikateşin gallat gibi flavonoidler, kırmızı şarabın duyuşal özelliklerinden sorumlu olan aromatik bileşiklerin oluşumunda kritik rol oynamaktadır. Bu bileşikler, özellikle tanenlerle reaksiyona girerek şarabın kompleks aroma profili ve yapısını belirleyen kimyasal etkileşimlere katılmaktadır (Arts ve ark., 2000). Kakao bazlı ürünler, özellikle çikolata, yüksek konsantrasyonlarda kateşin ve epikateşin gibi flavanoller (veya flavan-3-oller) içermektedir (Kofink ve ark., 2007).

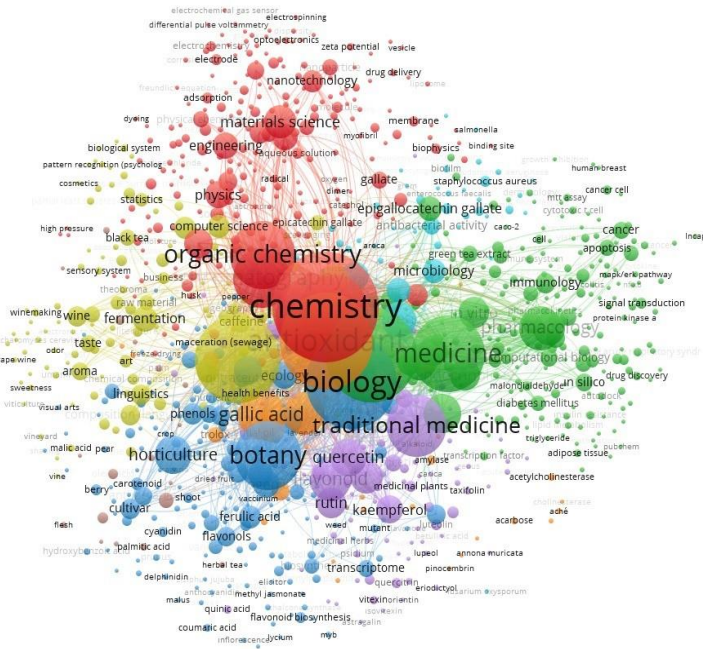
Çeşitli *Camellia sinensis* (yeşil çay) çalışmalarında, (-)-kateşin (C), (-)-epikateşin (EC), epikateşin gallat (ECG), (-)-epigallokateşin (EGC) ve (-)-epigallokateşin gallat (EGCG), en belirgin ve önemli kateşin bileşikler olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.). Bu spesifik kateşin bileşiklerinin konsantrasyonları, birincil olarak çayın yetiştirildiği coğrafi bölgeye (üretim yeri), bitkinin fenolojik olgunlaşma evresine ve uygulanan işleme (fermantasyon, kurutma, vb.) koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir (Braicu ve ark., 2013).



Şekil 1. Yeşil çayda bulunan temel flavan-3-ol bileşikleri ve yapısal izomerleri: kateşin, epigallokateşin (EGC), epigallokateşin gallat (EGCG), epikateşin ve epikateşin gallat.

Bir bileşiğin pK değeri, iyonizasyon derecesi ve buna bağlı olarak çözünürlük, kararlılık ve biyoyararlanım gibi farmakokinetik özellikleri üzerinde belirleyici olduğundan, kateşinin asidik özelliklerinin anlaşılması açısından önemli bir parametredir. Litarütürde kateşinin pK değerine ilişkin birtakım çalışmalar yapılmıştır. Herrero-Martínez ve arkadaşlarının 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada kateşine ait pKa değerleri şu şekilde rapor edilmiştir: pKa1= 8,68; pKa2= 9,70; pKa3= 11,55 (Herrero-Martínez ve ark., 2005).

Kateşinlere ilişkin araştırma alanlarının VOSviewer yazılımı kullanılarak oluşturulan bilimsel işbirliği ve anahtar kelime eş-görünüm ağı Şekil 2’de sunulmuştur. Bu görselleştirme, kateşin çalışmalarının yoğunlaştığı tematik odak noktalarını, araştırmalar arasındaki bağlantıları ve literatürde öne çıkan kavram kümelerini kapsamlı bir biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Kateşin Araştırma Alanlarının VOSviewer ile Görselleştirilmiş Ağı

Bu görsel, VOSviewer tarzında oluşturulmuş bir bibliyometrik ağ haritasıdır ve kateşin (*cateschin*) ile ilgili bilimsel literatürde geçen kavramların birbirleriyle olan ilişkilerini, tematik kümelerini ve yayın yoğunluklarını görselleştirmektedir. Harita, birbirinden ayrışan ancak birbiriyle yoğun etkileşim hâlinde olan beş ana tematik küme içermektedir. Merkezde yer alan en büyük düğümler “kimya”, “biyoloji”, “antioksidan”, “tıp” ve “geleneksel tıp” kavramları olup, bu durum kateşin çalışmalarının temel olarak kimya, biyoloji, tıp, gıda bilimi ve geleneksel tıp alanlarında yoğunlaştığını göstermektedir.

Kırmızı küme, kateşinin kimyasal özellikleri, oksidasyon–indirgenme mekanizmaları, analitik teknikler ve nanoteknolojik uygulamalar üzerine odaklanan organik kimya ve malzeme bilimi çalışmalarını temsil etmektedir. Bu kümede “organik kimya”, “malzeme bilimi”, “nanoteknoloji” ve “epigallokateşin gallat” gibi terimler öne çıkmaktadır. Yeşil küme, kateşinin biyolojik sistemlerdeki etkilerini konu alan biyoloji ve mikrobiyoloji araştırmalarını kapsamaktadır. “antibakteriyel aktivite”, “apoptoz”, “*Staphylococcus aureus*” ve “sinyal iletimi” gibi terimler, kateşinin hücresel

düzeydeki etkilerinin ve mikrobiyal inhibisyon potansiyelinin yoğun biçimde incelendiğini göstermektedir.

Turkuaz küme, farmakoloji ve tıp alanındaki yayınları içermekte olup kateşinin hastalık modelleri üzerindeki terapötik etkilerini ele almaktadır. Bu kümede “diyabet mellitus”, “kanser”, “ilaç keşfi” ve “in silico” gibi kavramlar dikkat çekmektedir. Bulgular, kateşinin metabolik hastalıklar, kanser ve inflamatuvar süreçlerde potansiyel biyolojik ajan olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Mavi küme, bitki bilimi, tarım ve gıda teknolojisi alanlarındaki çalışmaları kapsamaktadır. “bahçecilik”, “yeşil çay”, “fermantasyon”, “fenoller” ve “kuersetin” gibi terimler, kateşinlerin bitki kaynaklarındaki oluşumu, çeşit/genotip etkisi ve gıda işleme süreçleriyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Mor küme ise geleneksel tıp, fitokimya ve bitkisel bileşiklerin sağlık üzerindeki etkilerini araştıran yayınlardan oluşmaktadır. “tıbbi bitkiler”, “antioksidan aktivite”, “luteolin” ve “kaempferol” gibi terimler, kateşinin fitoterapötik açıdan değerlendirildiğini göstermektedir.

Genel olarak harita, kateşinin hem temel bilimlerde hem de uygulamalı bilimlerde geniş bir araştırma alanına sahip olduğunu; antioksidan aktivitenin ise tüm tematik kümelerde merkezi bir kavram olarak öne çıktığını ortaya koymaktadır. Bu durum, kateşinin kimyasal, biyolojik ve tıbbi açılardan çok yönlü bir bileşik olarak ele alındığını göstermektedir.

Bu bölümün amacı, polifenolik bir bileşik olan kateşinin biyolojik ve farmakolojik özelliklerini kapsamlı bir şekilde ortaya koyarak özellikle antioksidan, antikanser, anti-inflamatuvar ve nöroprotektif etkilerine ilişkin güncel literatürü bütüncül bir çerçevede değerlendirmektir.

1. KATEŞİNLERİN BİYOLOJİK VE FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Kateşinler, geniş bir biyolojik ve farmakolojik etki yelpazesine sahip polifenolik bileşikler olup; güçlü antioksidan özellikleri başta olmak üzere antikanser, anti-inflamatuvar ve nöroprotektif (nörodejeneratif hastalıklara karşı koruyucu) etkileri nedeniyle insan sağlığı açısından önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu bölümde, kateşinlerin söz konusu biyolojik aktiviteleri ayrıntılı biçimde ele alınarak ilgili mekanizmalar kapsamlı şekilde tartışılacaktır.

1.1. Antioksidan etki

Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, kateşinlerin sağlık üzerindeki yararlı etkilerinin temelinde güçlü antioksidan aktivitelerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu aktivitenin başlıca mekanizmalarından biri, kateşinlerin önemli detoksifikasyon enzimlerini uyarma yeteneğidir (Chedea ve ark., 2010). Bu enzimatik uyarmı, hücrel savunma sistemlerini güçlendirerek potansiyel olarak zararlı bileşiklerin vücuttan uzaklaştırılmasını kolaylaştırmakta ve böylece kateşinlerin koruyucu etkilerine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen kapsamlı araştırmalar, kateşinlerin yalnızca serbest radikalleri doğrudan nötralize etmekle kalmayıp aynı zamanda detoksifikasyon yollarını modüle ederek dolaylı bir koruyucu rol üstlendiğini de göstermektedir (Shahidi, 2000; Shimizu ve ark., 2008; Tachibana, 2009).

Reaktif oksijen türleri (ROS) ve Reaktif azot türleri (RNS), hücre içi sinyal iletim kaskadlarında ikincil haberciler olarak görev alarak hücrel fonksiyonların düzenlenmesinde kritik role sahip sinyal ajanlarıdır. ROS'un orta düzeyde üretimi (moderat seviyeler), kanser hücreleri için seçici olarak toksik etki gösterebilir; hatta, endojen savunma sistemlerini aktive etme yeteneği sayesinde antioksidan mekanizmaları tetikleyebilir. Kateşinler gibi bileşikler, hem serbest radikalleri temizleme (antioksidan etki) hem de üretme (pro-oksidan etki) potansiyeline sahiptirler. Bu dual mekanizmanın kombinasyonu yoluyla, biyolojik sistemler üzerindeki faydalı etkilerini (örneğin, kemopreventif veya terapötik potansiyel) ortaya koydukları düşünülmektedir (Valko ve ark., 2007).

Kateşinler; reaktif oksijen türlerini temizleme, redoks-aktif geçiş metal iyonlarını şelatlama, redoks-duyarlı transkripsiyon faktörlerini ve pro-oksidan enzimleri inhibe etme gibi çeşitli mekanizmalar yoluyla antioksidan etki göstermektedir. Ayrıca indüklenebilir nitrik oksit sentaz gibi antioksidan enzimleri indükledikleri ve Faz II detoksifikasyon enzimlerinin (örneğin Glutasyon S-transferazlar) yanı sıra Süperoksit dismutaz gibi temel antioksidan enzimlerin üretimini de artırdıkları bildirilmektedir (Youn ve ark., 2006).

1.2. Antikanser Etki

Kanser kemoprevansiyonu, hastalığın insidansını (görülme sıklığını) yavaşlatma, engelleme veya tersine çevirme amacıyla, doğal veya sentetik

biyoaktif bileşiklerin uygulanması yoluyla kanserogenez sürecinin kontrol altına alınmasını ifade eden bir stratejidir. Flavan-3-ol sınıfına ait olan kateşinlerin kemopreventif etkinlikleri, hücre sağkalımı ve programlı hücre ölümü (apoptoz) ile ilişkili sinyal iletim yollarına modülatör etki göstermeleriyle kanıtlanmıştır. Bu bileşikler, seçici apoptozu indükleyerek ve tümör gelişimini baskılayarak potansiyel göstermektedir. Bu mekanizmalar, anjiyogenezin inhibisyonu veya interlökin (IL) üretimi gibi immün ve inflamatuvar sinyal yollarının etkilenmesi üzerinden gerçekleşebilir (Kanadzu ve ark., 2006; Shimizu ve ark., 2008; Tachibana, 2009).

Kanserogenez ve tümör progresyonu, hücrelölümsüzleşme (immortalizasyon), regüle edilemeyen proliferasyon, komşu dokulara invazyon ve son olarak metastaz gibi ardışık evreleri içeren çok aşamalı (multistep) bir süreç olarak karakterize edilir. Söz konusu etkileşimlerin moleküler mekanizmalarının aydınlatılması, kanser tedavisinde yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine yönelik önemli katkılar sağlayabilir (Rajamanickam ve Agarwal, 2008).

Hayvan modelleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, doğal kateşinlerin karsinogenez sürecinin tüm aşamalarını (başlangıç, ilerleme ve progresyon) inhibe etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tümör oluşum sürecine yönelik bu çok yönlü engelleme, kateşinlerin sergilediği antioksidan, antiproliferatif ve proapoptotik etkilerin birleşik bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Khan ve ark., 2006; Sutherland ve ark., 2006; Zaveri, 2006).

Farklı laboratuvarlarda yapılan çalışmalar, kanser hücrelerinin, normal (dönüşmemiş) hücrelere kıyasla kateşinlerin inhibitör etkilerine karşı anlamlı ölçüde daha yüksek bir duyarlılık sergilediğine işaret eden ilgi çekici bir olguyu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, yumurtalık ve prostat kanser hücre hatlarında farklı kateşinlerin gösterdiği antikanser etkilerin, malignitenin türü ve evresine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Nihal ve ark., 2005; Ravindranath ve ark., 2009).

1.3.Anti-inflamatuar etki

Flavan-3-oller, hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda anti-inflamatuar özellikler sergilemektedir. Bu bağlamda, epigallokateşin 3-gallat gibi bileşiklerin, söz konusu anti-inflamatuar etkilerinden dolayı ateroskleroz ve

artrit dahil olmak üzere çeşitli inflamatuvar hastalıkların tedavisinde potansiyel terapötik faydalar sunabileceği öne sürülmektedir (Cavet ve ark., 2011).

In vitro hücre kültürü deneyleri, *in vivo* hayvan çalışmaları ve insan müdahale denemeleri (Rimbach ve ark., 2009; Velayutham ve ark., 2008) aracılığıyla son zamanlarda birçok moleküler hedef tanımlanmıştır. Bu etkiler, birçok inflamatuvar faktörün baskılanması yoluyla gerçekleşir. Bu faktörler arasında adezyon molekülleri, MAPK sinyal yolları (mitojenle aktive olan protein kinazlar, Agarwal ve ark., 2006) ve indüklenebilir nitrik oksit sentazın (iNOS) çok potansiyelli bir promotörü olan nükleer faktör-kappa B (NF-κB) yer almaktadır. Redoks (İndirgenme-Yükseltgenme) duyarlı transkripsiyon faktörleri olan NF-κB ve aktivatör protein-1 (AP-1), çeşitli oksidatif stresle düzenlenen vasküler inflamasyonun aracılığında kritik roller üstlenir. Özellikle NF-κB aktivasyonu, sitokinler, kemokinler ve adezyon molekülleri gibi proinflamatuvar moleküllerin ekspresyonunu düzenlemede merkezi bir öneme sahiptir (Velayutham ve ark., 2008)

1.4. Nörodejeneratif etki

Oksidatif stres ve reaktif oksijen türleri, yaşlanma süreci ve buna eşlik eden nörodejeneratif bozuklukların etiyolojisi ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir (Sasaki ve ark., 2008). Oksidatif stresin serebral iskemik inmedeki kilit rolü, nörodejeneratif süreçlerin anlaşılmasında merkezi bir öneme sahiptir. Kateşinlerin, nöronları aşırı oksidatif stresten koruma potansiyeli sayesinde, nörodejeneratif hastalıkların inhibisyonunda koruyucu etkileri olduğu düşünülmektedir. Son çalışmalarda, düzensiz demir metabolizmasının Parkinson hastalığının temel patolojik özelliklerinden biri olduğu ortaya konmuştur. Bu bağlamda, epigallokateşin gallatın güçlü demir şelatlama kapasitesi, nörodejeneratif hastalıklara karşı sergilediği nöroprotektif etkilerin altında yatan kritik bir mekanizma olabilir (Bernatoniene ve Kopustinskiene, 2018). Merkezi sinir sisteminde yaşlanma ve nörodejeneratif süreçler, temelde mitokondriyal oksidatif hasar ve buna bağlı elektron transfer zinciri fonksiyonunda bozulma sonucu ortaya çıkmaktadır. Yaşlanma sürecinde nöronlarda çeşitli oksidasyon ürünlerinin akümüasyonu gözlenmesi, antioksidan bileşiklerin eksilmesiyle nörodejeneratif ilerlemenin yavaşlatılabileceği hipotezini güçlendirmektedir. Bu bağlamda, kateşinler gibi

güçlü antioksidanlar, nörodejenerasyonu önleme ve bilişsel fonksiyonlardaki gerilemeyi geciktirme potansiyeli taşımaktadır (Assuncao ve Andrade, 2015).

SONUÇ

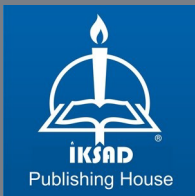
Tarih boyunca insanlar hastalıklarla mücadele etmek için çok çeşitli metodlar denemişlerdir. Modern tıp henüz tam olarak oluşmamışken insanlar hastalıklarla savaşmak için doğanın sunduğu imkanlardan yararlanmış ve pek çok bitkiyi hastalıkların tedavisinde kullanmışlardır. Geçmişte araştırma imkanlarının yetersizliği ve bitkiler hakkındaki kısıtlı bilgiler, insanların bu bitkilerden tam anlamıyla yararlanmalarına engel olmaktaydı. Fakat gelişen teknolojiyle birlikte, insanlar, geçmişte deneme yanılma yoluyla etkileri bulunan çoğu bitkinin içeriğini ve bitkilerde bulunan bileşiklerin işlevlerini tam olarak bilir hale gelmiştir. Bu bileşikler arasında ilk sırada yer alan polifenolik bir madde olan kateşin bu çalışmada ayrıntılı bir biçimde ele alınmaya çalışılmıştır. Çalışma kateşinin özellikle insan sağlığı üzerindeki etkilerine ve hastalıkların önlenmesindeki rolüne odaklanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları göstermiştir ki kateşin antikanser, antitiroid, antioksidan gibi pek çok biyolojik aktiviteye sahiptir. Bu bileşiğin insan sağlığı üzerindeki etkilerinden maksimum düzeyde yararlanabilmemiz için, bu doğal bileşiğin fizikokimyasal etkilerinin, biyoyararlanımının, biyo-erişilebilirliğinin, hedef dokulara dağılımının ve doza bağımlı kompleks etki mekanizmalarının klinik olarak daha ayrıntılı bir biçimde ele alınması gerekmektedir. Bu çalışmanın ileride bu konu ile ilgili yapılacak olan çalışmalara temel oluşturacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın ayrıca gelecekteki sağlık uygulamalarında, kateşin bazı yaklaşımların kişiselleştirilmiş beslenme ve farmasötik stratejilerde giderek artan bir öneme sahip olacağı da öngörülerimiz arasındadır.

KAYNAKÇA

- Aggarwal, B. B., & Shishodia, S. (2006). Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *Biochemical pharmacology*, 71(10), 1397-1421.
- Arts, I. C., Van De Putte, B., & Hollman, P. C. (2000). Catechin contents of foods commonly consumed in The Netherlands. 2. Tea, wine, fruit juices, and chocolate milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1752-1757.
- Assuncao, M., & Andrade, J. P. (2015). Protective action of green tea catechins in neuronal mitochondria during aging. *Front. Biosci*, 20, 247-262.
- Bernatoniene, J., & Kopustinskiene, D. M. (2018). The role of catechins in cellular responses to oxidative stress. *Molecules*, 23(4), 965.
- Braicu, C., Ladomery, M. R., Chedea, V. S., Irimie, A., & Berindan-Neagoe, I. (2013). The relationship between the structure and biological actions of green tea catechins. *Food chemistry*, 141(3), 3282-3289.
- Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea—a review. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2), 79-99.
- Cavet, M. E., Harrington, K. L., Vollmer, T. R., Ward, K. W., & Zhang, J. Z. (2011). Anti-inflammatory and anti-oxidative effects of the green tea polyphenol epigallocatechin gallate in human corneal epithelial cells. *Molecular vision*, 17, 533.
- Chedea, V. S., Braicu, C., & Socaciu, C. (2010). Antioxidant/prooxidant activity of a polyphenolic grape seed extract. *Food Chemistry*, 121(1), 132-139.
- Herrero-Martínez, J. M., Sanmartin, M., Rosés, M., Bosch, E., & Ràfols, C. (2005). Determination of dissociation constants of flavonoids by capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 26(10), 1886-1895.
- Kanadzu, M., Lu, Y., & Morimoto, K. (2006). Dual function of (-)-epigallocatechin gallate (EGCG) in healthy human lymphocytes. *Cancer letters*, 241(2), 250-255.
- Khan, N., Afaq, F., Saleem, M., Ahmad, N., & Mukhtar, H. (2006). Targeting multiple signaling pathways by green tea polyphenol (-)-epigallocatechin-3-gallate. *Cancer research*, 66(5), 2500-2505.

- Kofink, M., Papagiannopoulos, M., & Galensa, R. (2007). (-)-Catechin in cocoa and chocolate: occurrence and analysis of an atypical flavan-3-ol enantiomer. *Molecules*, 12(7), 1274-1288.
- Liu, D., Velayutham, P., & Babu, A. (2009). Green Tea Catechins and Cardiovascular Health: An Update. *Current Medicinal Chemistry, University of Cambridge UK., NIHMSID*, 145237.
- Nihal, M., Ahmad, N., Mukhtar, H., & Wood, G. S. (2005). Anti-proliferative and proapoptotic effects of (-)-epigallocatechin-3-gallate on human melanoma: Possible implications for the chemoprevention of melanoma. *International Journal of Cancer*, 114(4), 513-521.
- Rajamanickam, S., & Agarwal, R. (2008). Natural products and colon cancer: current status and future prospects. *Drug development research*, 69(7), 460-471.
- Ravindranath, M. H., Ramasamy, V., Moon, S., Ruiz, C., & Muthugounder, S. (2009). Differential growth suppression of human melanoma cells by tea (*Camellia sinensis*) epicatechins (ECG, EGC and EGCG). *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 6(4), 523-530.
- Rimbach, G., Melchin, M., Moehring, J., & Wagner, A. E. (2009). Polyphenols from cocoa and vascular health—A critical review. *International journal of molecular sciences*, 10(10), 4290-4309.
- Sasaki, T., Unno, K., Tahara, S., Shimada, A., Chiba, Y., Hoshino, M., & Kaneko, T. (2008). Age-related increase of superoxide generation in the brains of mammals and birds. *Aging cell*, 7(4), 459-469.
- Shahidi, F. (2000). Antioxidants in food and food antioxidants. *Food/nahrung*, 44(3), 158-163.
- Shimizu, M., Shirakami, Y., & Moriwaki, H. (2008). Targeting receptor tyrosine kinases for chemoprevention by green tea catechin, EGCG. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(6), 1034-1049.
- Sutherland, B. A., Rahman, R. M., & Appleton, I. (2006). Mechanisms of action of green tea catechins, with a focus on ischemia-induced neurodegeneration. *The Journal of nutritional biochemistry*, 17(5), 291-306.
- Tachibana, H. (2009, April). Molecular basis for cancer chemoprevention by green tea polyphenol EGCG. In *Forum Nutr* (Vol. 61, pp. 156-169).

- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84.
- Youn, H. S., Lee, J. Y., Saitoh, S. I., Miyake, K., Kang, K. W., Choi, Y. J., & Hwang, D. H. (2006). Suppression of MyD88-and TRIF-dependent signaling pathways of Toll-like receptor by (-)-epigallocatechin-3-gallate, a polyphenol component of green tea. *Biochemical pharmacology*, 72(7), 850-859.
- Zaveri, N. T. (2006). Green tea and its polyphenolic catechins: medicinal uses in cancer and noncancer applications. *Life sciences*, 78(18), 2073-2080.
- Zhang, M., Holman, C. D. A. J., Huang, J. P., & Xie, X. (2007). Green tea and the prevention of breast cancer: a case-control study in Southeast China. *Carcinogenesis*, 28(5), 1074-1078.



ISBN: 978-625-378-432-4