

ÖZEL BESLENME MÜHENDİSLİĞİ

EDİTÖRLER

ÖĞR. GÖR. DR. MERYEM AKBAŞ
DR. ÖĞR. ÜYESİ HİHAL KILMANOĞLU

EĞİTİM
yayınevi

ÖZEL BESLENME MÜHENDİSLİĞİ

Editörler: Öğr. Gör. Dr. Meryem Akbaş, Dr. Öğr. Üyesi Hilal Kılmanoğlu

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Tasarım Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-8793-81-9

1. Baskı, Haziran 2026

Kütüphane Kimlik Kartı

ÖZEL BESLENME MÜHENDİSLİĞİ

Editörler: Öğr. Gör. Dr. Meryem Akbaş, Dr. Öğr. Üyesi Hilal Kılmanoğlu

E-ISBN: 978-625-8793-81-9

VI+270 s., 160x240 mm

Kaynakça var, dizin yok.

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.



Yayınevi Türkiye Ofis:

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İstanbul: Salon Yayınları, Atakent mah., Yasemen sok., No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Santral: +90 332 351 92 85

Editör hatları: +90 533 151 50 42, +90 507 151 50 43
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis:

New York: Egitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr

Whatsapp hattı: +90 553 950 50 37
bilgi@kitapmatik.com.tr

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye

Whatsapp hattı: +90 501 651 92 85
bilgi@egitimkitabevi.com

EĞİTİM YAYINEVİ
GRUBU

EĞİTİM
yayınevi

SALON
yayınları

Kitapmatik
yayınları

kitapmatik
İnternet Kitapçısı

EĞİTİM
kitabevi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	V
ÖZEL BESLENMENİN BİLİMSEL TEMELLERİ.....	1
Emin Akarçay	
ÖZEL BESLENMEDE BİTKİ BAZLI ALTERNATİFLERİN BİYOPOLİMERİK YAKLAŞIMLARI	15
Barış Burak Albayrak	
ÖZEL BESLENMEDE BAZI İLERİ İŞLEME TEKNOLOJİLERİNE GENEL BİR BAKIŞ	35
Meryem Akbaş, Seher Kumcuoğlu	
FONKSİYONEL BİLEŞENLER VE SÜPER GIDALAR	54
Benan Dinç Girgin	
HASSAS (PRECISION) BESLENME: NUTRİGENETİK, NUTRİGENOMİK VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ YAKLAŞIMLAR.....	83
Sema Nur Yıldırım, Enes Dertli	
ÖZEL BESLENMEDE GIDA DOKUSU MÜHENDİSLİĞİ: LEZZET, YUTMA GÜVENLİĞİ VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ YAPI TASARIMI	95
Gözde Ela Albayrak, Neslihan Bozdoğan, Seher Kumcuoğlu	
FERMANTASYON TEKNOLOJİSİ VE ÖZEL BESLENME STRATEJİSİNDEKİ ÖNEMİ	127
Hilal Kılmanoğlu	
GERİATRİK BESLENME MÜHENDİSLİĞİ: YAŞLI BİREYLERDE MALNÜTRİSYONU ÖNLEYİCİ FONKSİYONEL GIDALAR.....	150
Fatma Nur Demirbaş	
ÖZEL DİYETLER	172
Bilge Baştürk Berk, Şebnem Tavman	

ÖZEL BESLENME TÜRLERİNİN PSİKOLOJİYE ETKİSİ204

Çınar Demir Akyıldız, Sümeyra Başar

ÖZEL BESLENMEDE GIDA GÜVENLİĞİ VE REGÜLASYONLARI240

Esra Özyiğit, Buse Özdere Yılmaz

ÖNSÖZ

Günümüzde beslenme anlayışı, yalnızca açlığı gidermenin veya temel besin ögesi ihtiyaçlarını karşılamamanın çok ötesine geçmiştir. Bilim ve teknolojiadaki hızlı ilerlemeler, sağlık, hastalık, yaşam kalitesi ve bireysel farklılıklar arasındaki karmaşık ilişkiyi daha derinlemesine anlamamızı sağlamaktadır. İşte bu noktada, multidisipliner bir yaklaşımı temsil eden "Özel Beslenme Mühendisliği" kavramı, geleceğin sağlık ve gıda paradigmasının merkezinde yer almaktadır.

Elinizdeki bu eser, özel beslenmenin çok yönlü dünyasına ışık tutmayı amaçlayan, alanında uzman akademisyen ve araştırmacıların katkılarıyla hazırlanmış kapsamlı bir çalışmadır. Kitap, özel beslenmenin bilimsel temellerinden başlayarak, bitki bazlı alternatiflerin biyopolimerik dinamiklerine, ileri işleme teknolojilerinden fonksiyonel bileşenlerin ve süper gıdaların gücüne kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

Bu yolculukta, beslenmenin kişiselleştiği yeni çağa tanıklık ediyoruz. Hassas beslenme, nutrigenetik ve nutrigenomik gibi devrim niteliğindeki alanlar, her bireyin genetik mirasına ve yaşam tarzına uygun, kişiye özel beslenme stratejilerinin kapılarını aralamaktadır. Bununla birlikte, sadece ne yediğimiz değil, nasıl algıladığımız ve tükettiğimiz de büyük önem taşır. Gıda dokusu mühendisliği, lezzet, yutma güvenliği ve kişiselleştirilmiş yapı tasarımı gibi başlıklarla, beslenme deneyimini duyuşal ve fizyolojik boyutlarıyla ele almaktadır.

Özel beslenme, aynı zamanda yaşamın farklı evrelerindeki özel ihtiyaçlara da odaklanır. Geriatrik beslenme mühendisliği, yaşlanan nüfusun karşılaştığı malnütrisyon riskine karşı fonksiyonel çözümler sunarken, özel diyetler ve fermente gıdaların stratejik önemi, sağlığı koruyucu ve geliştirici rollerini gözler önüne sermektedir. Beslenmenin sadece fiziksel sağlıkla sınırlı olmadığını, psikolojik iyi oluş hali üzerindeki derin etkilerini de bu kitapta ayrıca ele alıyoruz.

Son olarak, bu yeni ve hızla gelişen alanın en kritik ayaklarından biri olan gıda güvenliği ve regülasyonları, tüm bu yenilikçi yaklaşımların güvenilir, etik ve sürdürülebilir bir çerçevede uygulanmasının teminatını oluşturmaktadır.

Bu kitabın, gıda mühendisliği, beslenme bilimleri, beslenme ve diyetetik, gastronomi ve ilgili sağlık alanlarında çalışan profesyoneller, araştırmacılar, öğrenciler ve konuya ilgi duyan herkes için ilham verici bir kaynak, rehber ve tartışma zemini olmasını diliyoruz. Özel beslenmenin engin ve heyecan verici dünyasına yapılacak bu yolculuğın, ufkumuzu genişletmesi ve daha sağlıklı bir geleceğin inşasına katkıda bulunması en büyük temennimizdir.

Eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm bölüm yazarlarına özverili çalışmalarından dolayı içtenlikle teşekkür eder, okuyucularımıza keyifli ve verimli bir okuma deneyimi dileriz.

ÖZEL BESLENMENİN BİLİMSEL TEMELLERİ

Emin Akarçay*

GİRİŞ

Beslenme bilimi, tarihsel süreç içerisinde yalnızca temel fizyolojik ihtiyaçları karşılama ve kalori açığını kapatma misyonundan sıyrılarak; genetik, metabolik ve çevresel faktörlerin bireyler üzerindeki spesifik etkilerini merkezîyetçi bir yaklaşımla ele alan ileri bir multidisipliner yapıya evrilmiştir (Mozaffarian vd., 2018). Geleneksel popülasyon geneli diyet yaklaşımlarının modern sağlık krizlerine ve biyokimyasal bireyselliğe yanıt verememesi, gıda formülasyonlarının medikal, fizyolojik ve reolojik hedefler doğrultusunda yeniden tasarlanmasını gerektirmiş ve böylece özel beslenme disiplini doğmuştur (Gibney vd., 2013; Katan & De Roos, 2004).

Bu bölümde, özel beslenmenin bilimsel ve kavramsal altyapısı incelenmiştir. İlk olarak özel beslenme alanının tarihsel gelişimi, temel tanımları, gıda intoleransları ve alerjilerin immünolojik/metabolik mekanizmaları ele alınmaktadır. Ardından, modern dünyada bu mühendislik dalına duyulan ihtiyacı zorunlu kılan epidemiyolojik, demografik ve teknolojik ortaya çıkış nedenleri incelenmektedir. Son olarak, klinik regülasyonlar ve biyo-bireysel gereksinimler doğrultusunda şekillenen özel beslenme çeşitleri detaylandırılmaktadır. Kurulan bu teorik zemin, diğer bölümlerde tartışılan ileri işleme teknikleri, alternatif protein formülasyonları ve reolojik modellerin tam anlamıyla kavranması için kritik bir rehber niteliği taşımaktadır.

Özel beslenmenin tanımı, tarihçe, intolerans ve alerjiler

Özel beslenmenin tanımı

Özel beslenme, bireylerin genetik altyapıları, fizyolojik evreleri (büyüme, gebelik, geriatric dönem), metabolik sendromları veya spesifik patolojik durumları (örneğin doğuştan gelen metabolizma hastalıkları, otoimmün reaksiyonlar) doğrultusunda günlük diyetin ve besin ögesi

* Öğr. Gör., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, Aşçılık Programı, Kütahya, eminalarçay@dpu.edu.tr, ORCID: orcid.org/ 0000-0002-3709-6339

alımının hedefe yönelik olarak modifiye edilmesi bilimidir (Gibney vd., 2013). Temel beslenme biliminden farklı olarak bu alan, popülasyon geneline yönelik "standart diyet" düşüncesini benimsemez ve biyokimyasal bireyselliği esas alır.

Bu bilimsel altyapıyı teknolojik bir gerçeğe dönüştüren Özel Beslenme Mühendisliği ise, klinik beslenme, gıda bilimi, reoloji ve malzeme bilimi gibi disiplinleri bir araya getiren ileri bir mühendislik dalıdır. Bir gıdanın özel beslenme ürünü statüsü kazanabilmesi için yalnızca makro ve mikro besin öğelerinin ayarlanması yeterli değildir. Ürünün, hedeflenen doku profiline, spesifik nem ve su aktivitesi standartlarına ve biyoyararlanım kriterlerine uygun olarak tasarlanması zorunludur. Örneğin, yutma güçlüğü (disfaji) çeken hastalar için tasarlanan sıvıların Newton tipi olmayan akışkan davranışlarının ayarlanması veya fenilketonüri (PKU) hastaları için elzem amino asit profili değiştirilmiş formülasyonların geliştirilmesi doğrudan bu mühendislik dalının kapsamına girer (Katan & De Roos, 2004).

Özel beslenmenin tarihçesi

Özel beslenme kavramının tarihsel gelişimi, ampirik gözlemlerden moleküler düzeydeki mühendislik tasarımlarına uzanan geniş bir evrim geçirmiştir (Mozaffarian vd., 2018):

Klasik Dönem ve Eksikliklerin Keşfi (19. ve 20. Yüzyıl Başları): Antik çağlarda besinlerin farmakolojik ajanlar olarak kullanılmasıyla başlayan süreç, 19. yüzyılda makro besinlerin tanımlanması/keşfedilmesi ve 20. yüzyılın başlarında vitaminlerin (mikro besinlerin) izole edilmesiyle bilimsel bir zemine oturmuştur. İskorbüt, pellegra ve beriberi gibi hastalıkların spesifik besin eksiklikleriyle ilişkilendirilmesi, gıdaların zenginleştirilmesi (fortifikasyon) kavramını gıda teknolojisine kazandırmıştır.

Hastalık Spesifik Diyetler ve Eliminasyon (20. Yüzyıl Ortaları): 1950'lerde çocuk doktoru Willem Dicke'nin buğdaydaki gluten proteininin çölyak hastalığı semptomlarını tetiklediğini klinik olarak kanıtlaması, beslenme biliminde bir dönüm noktası olmuştur (Fasano, 2011). Bu buluş, gıdanın sadece besleyici değil, aynı zamanda patojenik bir tetikleyici olabileceği fikrini doğurmuş ve "eliminasyon diyetleri" ile "içermez (free-from)" gıda endüstrisinin temellerini atmıştır.

Hassas Beslenme ve Nanoteknoloji (21. Yüzyıl ve Sonrası): İnsan Genom Projesi'nin tamamlanması ve bağırsak mikrobiyotasının sırlarının çözülmesiyle nutigenetik bilimi doğmuştur. Günümüzde özel beslenme mühendisliği, gıdaların besin değerini veya raf ömrünü artırmak için güvenli limitler katkı maddelerinin formülasyonlara entegre edilmesi, biyoaktif peptitlerin sentezlenmesi ve kişiye özel üç boyutlu (3B) gıda yazıcı teknolojilerinin geliştirilmesi gibi devrim niteliğinde konseptler üzerinde çalışmaktadır.

Gıda intoleransı: Metabolik eksiklikler, reolojik zorluklar ve formülasyon

Gıda intoleransı, bağışıklık sistemi dışı mekanizmalarla (enzimatik, farmakolojik veya idiyopatik) meydana gelen, gıdaların sindirimi ve metabolizması sırasındaki fonksiyonel bozukluklardır. Semptomlar alerjilere göre daha yavaş gelişir, doz-yanıt ilişkisi gösterir ve gastrointestinal sisteme odaklanmaktadır (Zopf vd., 2009).

Özel beslenme mühendisliğinin temel araştırma geliştirme kollarını oluşturan intoleranslar aşağıdaki başlıklar halinde sınıflandırılabilir:

Enzimatik İntoleranslar (Laktoz İntoleransı): İnce bağırsağın fırçası kenar (brush border) epitelinde laktaz (β -galaktosidaz) enziminin genetik veya sekonder nedenlerle yetersiz eksprese edilmesi durumudur (Misselwitz vd., 2013). Parçalanamayan laktoz kalın bağırsağa geçer ve burada mikrobiyota tarafından fermente edilerek hidrojen, metan ve karbondioksit gazları ile kısa zincirli yağ asitlerine (SCFA) dönüştürülür. Bu durum ozmotik diyare ve kramplara neden olur. Mühendislik yaklaşımı, sütün soğuk veya sıcak enzimatik hidrolizasyonu ya da membran filtrasyon (ultrafiltrasyon/nanofiltrasyon) teknikleri ile laktozsuz ürünlerin formüle edilmesini kapsar.

Farmakolojik İntoleranslar (Histamin İntoleransı): Fermente gıdalar (şarap, yıllanmış peynir), işlenmiş etler ve belirli sebzelerde yüksek oranda bulunan biyojenik bir amin olan histamin, bağırsaktaki diamin oksidaz (DAO) enzimi yetersizliği nedeniyle parçalanamamaktadır. Bu durum, baş ağrısı, taşikardi ve ciltte kızarıklık (flushing) gibi pseudo-alerjik semptomlara neden olur (Comas-Basté vd., 2020).

Yapısal Protein İntoleransları ve Reolojik Formülasyon (Çölyak ve Glüten Hassasiyeti): Buğday (gliadin), arpa (hordein) ve çavdar (sekalin) prolamınlarının ince bağırsakta enflamatuvar bir otoimmün yanıt

başlatarak villus atrofisine neden olması durumudur. Tek tedavisi ömür boyu glütensiz diyetdir (Fasano, 2011).

İleri Formülasyon ve Analiz Mühendisliği: Fırıncılık teknolojisinde glütenin ikame edilmesi, gıda reolojisi açısından en zorlu mühendislik problemlerinden biridir. Glütenin hamura kazandırdığı ekstensibilite (uzayabilirlik), elastikiyet ve spesifik viskoelastik ağ yapısı olmadan, hamurun karbondioksit tutma kapasitesi dramatik şekilde düşer. Bu yapısal kaybı kompanse etmek için glütensiz formülasyonlarda karnıyarık otu tozu (psyllium husk), ksantan gam, guar gam gibi hidrokolloidler ve modifiye nişastalar kullanılarak polimerik bir yapı inşa edilir (Cappa vd., 2013). Ürünün kalite kontrol sürecinde, ekmek içi sertliğini, çiğnenebilirliğini ve kohezyonunu ölçmek için Doku Profil Analizi kritik bir rol oynar. Ayrıca, ürünün raf ömrünü ve duyu özelliklerini optimize etmek adına nem içeriğinin AACC 44-15.02 gibi uluslararası referans metodlarla (sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutma esasına dayalı metodolojiler) hassas bir şekilde tayin edilmesi gerekmektedir (AACC, 1999). Son yıllarda, bu glütensiz matrikslerin besinsel kalitesini artırmak amacıyla, yenilikçi takviyeler üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır (Capriles & Arêas, 2014; Gobbetti vd., 2018).

Gıda alerjileri: İmmünolojik mekanizmalar ve proses güvenliği

Gıda alerjisi, bağışıklık sisteminin zararsız gıda antiijenlerine (alerjenlere) karşı geliştirdiği spesifik, hızlı ve potansiyel olarak fatal (ölümcül) olabilen aşırı duyarlılık reaksiyonudur (Boyce vd., 2010).

İmmünopatogenez: Vakaların büyük çoğunluğu Tip-1 aşırı duyarlılık olarak bilinen immünoglobulin E (IgE) aracılı mekanizmalarla gerçekleşir. Sensitizasyon (duyarlılaşma) aşamasında, spesifik bir gıda proteini antiijen sunan hücreler tarafından işlenir ve Th2 lenfositleri aktive edilerek B hücrelerinden IgE üretimi uyarılır. Bu IgE antikoru mast hücreleri ve bazofillerin yüzeyine bağlanır. Birey aynı alerjenle tekrar karşılaştığında, protein epitopları yüzeydeki IgE'leri çapraz bağlar ve saniyeler içinde masif bir degranülasyon başlar. Ortaya çıkan histamin, lökotrienler ve prostaglandinler; vazodilatasyon, bronkospazm ve doku ödemeine yol açarak ürtikerden anafilaktik şoka kadar uzanan klinik tabloları oluşturur (Sicherer & Sampson, 2018).

Başlıca Alerjenler ve Çapraz Reaktivite: Dünyada gıda alerjilerinin %90'ından fazlasından sorumlu olan Büyük Sekizli (Big Eight); inek sütü, yumurta, yer fıstığı, ağaç yemişleri, buğday, soya, balık ve kabuklu deniz ürünleridir. Ayrıca polen alerjisi olan bireylerin çiğ meyve/sebze tüketimiyle oral alerji sendromu yaşamasına neden olan çapraz reaksiyon mekanizmaları da özel beslenmede dikkate alınması gereken bir faktördür (Sicherer & Sampson, 2018).

Mühendislik Perspektifinden Alerjen Yönetimi: Alerjen içermeyen ürünlerin geliştirilmesinde termal işlemlerin (kavurma, ekstrüzyon) rolü karmaşıktır. Isı, bazı konformasyonel epitoplara denatüre ederek alerjeniteyi azaltabilirken; yer fıstığı gibi örneklerde Maillard reaksiyonu yoluyla proteinlerin çapraz bağlanmasına neden olarak alerjenik potansiyeli artırabilir (neo-alerjen oluşumu). Üretim tesislerinde hava kaynaklı çapraz bulaşmayı önlemek amacıyla, validasyonu yapılmış CIP (Cleaning-in-Place) sistemleri kurmak ve moleküler düzeyde (ELISA, Real-Time PCR) kalıntı analizi yapmak, gıda güvenliği regülasyonlarının temelidir (Sicherer & Sampson, 2018).

Özel beslenmenin ortaya çıkış nedenleri

Özel beslenme ve onu destekleyen özel beslenme mühendisliği disiplini, standart diyet yaklaşımlarının modern insan fizyolojisinin karmaşık sorunlarını çözmede yetersiz kalmasıyla zorunlu bir bilimsel evrim olarak ortaya çıkmıştır. Bu disiplinin doğuşunu ve hızla endüstrileşmesini tetikleyen faktörler yalnızca tıbbi gereksinimlerle sınırlı kalmamış, malzeme bilimi, nanoteknoloji ve ileri gıda reolojisindeki ilerlemelerle de doğrudan şekillenmiştir. Bu ortaya çıkış nedenleri, altı temel mekanizma üzerinden detaylandırılmaktadır.

Epidemiyolojik kayma ve metabolik sendrom krizi

Geleneksel beslenme modellerinin çöküşündeki en büyük etken, bulaşıcı hastalıklardan ziyade kronik bulaşıcı olmayan hastalıkların küresel bir pandemiye dönüşmesidir. Obezite, tip-2 diyabet, insülin direnci ve kardiyovasküler patolojiler, endüstriyel gıdaların aşırı rafine edilmiş matrikslerinden kaynaklanmaktadır (Willett, 2002). Bu durum, genel popülasyon önerilerinin ötesine geçerek; glisemik indeksi modifiye edilmiş, fonksiyonel liflerle (örneğin psyllium husk) zenginleştirilmiş ve biyoyararlanımı maksimize edilmiş terapötik gıdaların mühendislik düzeyinde tasarlanması ihtiyacını doğurmuştur.

Gıda alerjileri, intoleranslar ve yapısal ikame zorunluluğu

Çölyak hastalığı, non-çölyak gluten hassasiyeti ve spesifik gıda proteinlerine (yer fıstığı, süt, yumurta vb.) karşı gelişen immünolojik yanıtların prevalansındaki logaritmik artış, özel beslenme formülasyonlarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Prescott vd., 2013). Özellikle glutensiz beslenmeye olan acil medikal ihtiyaç, gıda bilimi için eşsiz bir mühendislik problemi yaratmıştır.

İmmünolojik ve metabolik reaksiyonların görülme sıklığındaki artış, batı ülkelerinde %10'lara kadar ulaşırken, Asya ve gelişmekte olan diğer bölgelerde de benzer bir yükseliş trendi raporlanmaktadır (Loh & Tang, 2018). Dünya Alerji Örgütü (WAO) destekli küresel anket verileri de gıda alerjisi yükünün özellikle çocukluk çağında hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde istikrarlı bir şekilde arttığını kanıtlamaktadır (Prescott vd., 2013). Bu artış, çevre kirliliği, anne sütü tüketim sürelerinin değişmesi, aşırı steril yaşam koşullarının bağışıklık sistemini yanıltması (hijyen hipotezi) ve gıda işleme teknolojilerinde kullanılan kimyasal girdilerin artması gibi çok faktörlü nedenlere bağlanmaktadır.

Nanoteknoloji ve ileri zenginleştirme (fortifikasyon) stratejileri

Mikro besin ögesi yetersizlikleri (gizli açlık), modern toplumların en büyük sorunlarından biridir. Klasik fortifikasyon yöntemlerinin, ürünün duyu özelliklerini bozması (örneğin oksidasyona bağlı metalik tat veya renk değişimi) ve gastrointestinal sistemde biyoerişilebilirliğinin düşük olması, gıda mühendislerini yeni taşıyıcı sistemler tasarlamaya itmiştir (McClements, 2015).

Bu noktada, gıda güvenliği sınırları dahilinde geliştirilen nanoteknolojik uygulamalar devreye girmiştir. Örneğin, temel besin öğelerinden yoksun kalabilen özel diyet ürünlerinin (glutensiz fırıncılık formülasyonları gibi) nanokapsülasyon, nanoemülsiyon veya lipozomal taşıyıcı sistemler kullanılarak biyoaktif bileşenler ve esansiyel minerallerle zenginleştirilmesi; söz konusu bileşenlerin gastrointestinal sistemdeki stabilitesini ve hücresel düzeyde biyo-erişilebilirliğini maksimize etmektedir (McClements, 2015). Nano düzeydeki bu formülasyon stratejileri, eklendikleri gıdanın reolojik yapısını, optik özelliklerini ve raf ömrünü bozmadan besin değerini artırırken; beraberinde getirdiği spesifik *in vivo* toksikolojik analiz zorunlulukları ve katı gıda güvenliği

protokolleriyle özel beslenme mühendisliğinin sınırlarını büyük ölçüde genişletmiştir.

Demografik yaşlanma (geriatri) ve disfaji yönetimi

Küresel yaş ortalamasının artmasıyla birlikte geriatrik beslenme, özel beslenmenin en hızlı büyüyen alt dalı olmuştur. Yaşlanmaya bağlı sarkopeni (kas erimesi), gastrointestinal atrofi ve özellikle disfaji (yutma güçlüğü), standart gıdaların tüketilmesini imkânsız veya tehlikeli hale getirmektedir (Sura vd., 2012). Hastaların aspirasyon pnömonisi riskini ortadan kaldırmak için, gıdaların belirli viskozite, akışkanlık ve kesme gerilimi değerlerine göre modifiye edilmesi gerekmektedir. Jelleşme, köpük oluşturma ve emülsiyon teknolojileri kullanılarak yutma refleksine uygun Newton tipi olmayan akışkan profillerinin tasarlanması ihtiyacı, özel beslenme mühendisliğinin doğuşundaki en güçlü klinik gerekçelerdendir.

Omiks teknolojileri ve nutrijenetik devrimi

21. yüzyılın başlarında İnsan Genom Projesi'nin tamamlanması, genler, besinler ve mikrobiyota arasındaki karmaşık etkileşimleri (nutrijenomik ve nutrijenetik) gözler önüne sermiştir (Ordovas & Corella, 2004). Aynı gıdanın, genetik polimorfizmleri farklı olan iki bireyde tamamen zıt metabolik ve enflamatuvar yanıtlar (örneğin kan glukoz dalgalanmaları) yaratabildiği kanıtlanmıştır. Bu biyokimyasal bireyselliğin anlaşılması, yapay zekâ ve veri odaklı algoritmalar (örneğin sürekli glukoz monitörleri) yardımıyla, kişinin genetik koduna ve bağırsak florasına %100 uyumlu kişiselleştirilmiş beslenme matrislerinin 3B gıda yazıcılarıyla üretilmesi vizyonunu ortaya çıkarmıştır.

Sürdürülebilirlik, etik tüketim ve alternatif protein kaynakları

İklim değişikliği, azalan tatlı su kaynakları ve endüstriyel hayvancılığın karbon ayak izi, geleneksel hayvansal protein tüketimini sürdürülemez kılmaktadır. Tüketicilerin vegan, vejetaryen ve fleksitaryen diyetlere yönelmesi, bitkisel protein izolatlarının, mikrobiyal fermantasyon ürünlerinin ve laboratuvar ortamında geliştirilen hücresel tarım ürünlerinin (kültür eti) formüle edilmesini zorunlu kılmıştır (Aiking, 2011). Hayvansal proteinin tekstürel özelliklerini, lif yapısını ve amino asit profilini bitkisel ve teknolojik kaynaklarla birebir kopyalamaya çalışmak, özel beslenme

alanını bir gıda aktivizmi olmaktan çıkarıp ileri mühendislik bilimine dönüştürmüştür.

Özel beslenme çeşitleri ve sınıflandırmaları

Özel beslenme, bireylerin genetik yapıları, fizyolojik evreleri, metabolik bozuklukları veya etik/ekolojik tercihleri doğrultusunda geniş ve multidisipliner bir yelpazede sınıflandırılmaktadır. Beslenme biliminin mühendislik ve malzeme bilimiyle kesiştiği bu alan, uluslararası regülasyonlar (örneğin Avrupa Birliği'nin FSMP (Foods for special medical purposes) regülasyonu 609/2013 veya Codex Alimentarius standartları) referans alınarak biyokimyasal ve teknolojik hedeflerine göre dört ana kategori altında incelenmektedir (Codex Alimentarius, 1985; European Parliament and of the Council, 2013).

Tıbbi ve klinik amaçlı özel beslenme (FSMP)

Tıbbi beslenme, bir hastalık, travma veya cerrahi müdahale sonucunda normal gıdaları tüketme, sindirme, absorbe etme veya metabolize etme kapasitesi kısıtlanmış ya da tamamen bozulmuş hastaların spesifik diyet yönetimidir (European Parliament and of the Council, 2013). Bu alanda gıda formülasyonları doğrudan terapötik bir araç olarak işlev görür.

Doğuştan Metabolizma Hastalıkları (Örn. PKU): Bu diyet yöntemi karaciğerde fenilalanin hidroksilaz enziminin eksikliğine bağlı olarak fenilalanin amino asidinin toksik düzeyde biriktiği hastalar için, bu amino asitten tamamen arındırılmış sentetik protein formülasyonlarının geliştirilmesi amacı taşımaktadır. Bu medikal karışımların duyuşal profillerini ve serbest amino asitlerin yarattığı acılığı maskelemek, özel beslenme mühendisliğinin en temel uğraşlarından biridir (Ney vd., 2016; van Wegberg vd., 2017).

Disfaji Matrisleri: İnme, nörodejeneratif hastalıklar veya kas atrofisi nedeniyle yutma refleksini kaybeden geriatrik ve nörolojik hastalar için geliştirilir. Sıvıların solunum yoluna kaçmasını (aspirasyon pnömonisi) önlemek amacıyla akışkanlar mekaniği kullanılarak, hastanın yutma kapasitesine göre viskozitesi modifiye edilmiş, Newton tipi olmayan kıvam artırıcılar ve polisakkarit bazlı jeller tasarlanır (Cichero vd., 2017).

Enteral ve Parenteral Beslenme: Gastrointestinal florası veya sindirim anatomisi işlevsiz olan hastalar için uygulanan bu beslenme türünde, ozmolaritesi kan plazmasına eşitlenmiş, tüple (enteral) veya doğrudan

damar yoluyla (parenteral) verilen steril, peptit veya amino asit bazlı medikal solüsyonlar kullanılmaktadır (Bischoff vd., 2020).

Fizyolojik yaşam döngüsü ve popülasyon dinamiklerine yönelik beslenme

Bu kategori, bireylerin sağlıklı ancak fizyolojik olarak spesifik gereksinimlere (büyüme, hücre bölünmesi, yüksek hücresel enerji harcaması) sahip oldukları dönemlerde makro ve mikro besin öğelerinin modifiye edilmesini kapsar.

Pediyatrik Beslenme ve Bebek Formülleri: Anne sütünün biyoyararlanımını ve immünolojik yapısını kopyalamayı hedefleyen ileri teknoloji ürünlerdir. İnek sütündeki kazein/ whey protein dengesinin anne sütüyle (yaklaşık 40/60) eşleşecek şekilde moleküler düzeyde modifiye edilmesi ve formülün bebeklerin henüz tam gelişmemiş mide asidi ortamında pıhtılaşmasını optimize etme işlemlerini içerir (Martin vd., 2016).

Maternal (Gebelik ve Laktasyon) Beslenmesi: Fetal embriyogenez sırasında nöral tüp defektlerini önlemek için folik asit, iskelet gelişimi için kalsiyum ve maternal anemiye karşı ekstra demir ile zenginleştirilmiş beslenmedir (Mousa vd., 2019). Bu beslenmede minerallerin oksidasyonu önlemesi ve midede tahribat yaratmaması için lipozomal teknolojilerle nanokapsülasyon teknikleri kullanılır (Gómez-Ramírez vd., 2018).

Performans ve Sporcu Beslenmesi: Bu beslenme türünde egzersiz öncesi ATP üretimini ve hücresel oksijenasyon kapasitesini maksimize eden izotonik solüsyonlar, egzersiz sonrasında ise kas mikrotravmalarının onarım hızını artırmak üzere hidrolize protein ve Dallı Zincirli Amino Asitler (BCAA) içeren fonksiyonel reolojik formülasyonlar kullanılmaktadır (Kerksick vd., 2018).

Eliminasyon diyetleri: İntolerans ve alerji odaklı beslenme

Bağıışıklık sisteminin majör antijenlere karşı verdiği aşırı yanıtı (alerji) veya spesifik metabolik sindirim yetersizliklerini (intolerans) engellemek amacıyla; hedeflenen patojenik bileşenlerin matriks yapısından tamamen uzaklaştırıldığı teknolojik gruptur (Codex Alimentarius, 1985).

Glütensiz Formülasyonlar: Çölyak hastalığı ve çölyak dışı glüten hassasiyetinin tek bilimsel tedavisi olan bu diyet modeli, reolojik açıdan gıda mühendisliğinin en zorlu sahasıdır. Buğday prolaminlerinin yerini

alacak vizkoelastik ağın oluşturulabilmesi için; ksantan gam, karnıyarık otu tozu (psyllium husk), modifiye mısır/tapyoka nişastası gibi hidrokolloidlerin hassas kombinasyonları kullanılır. Bu polimerik ağ, hamurun gaz tutma kapasitesini, hacmini ve su aktivitesini stabilize ederek güvenli bir yapı inşa eder (Cappa vd., 2013).

Laktozsuz Teknolojiler: İnce bağırsakta genetik veya çevresel faktörlerle azalan β -galaktosidaz (laktaz) enzimi eksikliğini kompanse etmek amacıyla, sütteki laktoz disakkaritinin endüstriyel hidroliz veya membran ultrafiltrasyon yöntemleriyle glikoz ve galaktoza indirgenmesi işlemidir (Harju vd., 2012).

Alerjen İçermeyen Sistemler: Yer fıstığı, soya, balık gibi anafilaksiye neden olabilecek majör gıda alerjenlerinin "sıfır tolerans" prensibiyle üretimden çıkarıldığı, çapraz bulaşma riskinin moleküler bazda (PCR, ELISA) engellendiği tam izole gıdalardır (Taylor & Baumert, 2015).

Etik, ekolojik ve terapötik yaşam tarzı temelli beslenme

Modern tüketicinin ekolojik karbon ayak izi kaygıları, hayvan refahı hassasiyetleri ve farmakolojik etkiler aradığı biyoaktif diyet modellerinden oluşur.

Vegan/Vejetaryen ve Bitki Bazlı Mühendislik: Hayvansal protein ve lipidlerin tamamen reddedildiği bu beslenme tarzında; et veya süt dokusunu taklit etmek için bitkisel protein izolatları (bezelye, mercimek, soya) ekstrüzyon (high-moisture extrusion) teknolojisine tabi tutularak lifli, anizotropik et benzeri yapılara dönüştürülür (Dekkers vd., 2018).

Ketojenik ve Özelleştirilmiş Metabolik Diyetler: Orijinalinde dirençli epilepsi nöbetlerini yönetmek için tasarlanan, günümüzde ise nöroprotektif faydaları ve insülin direnci regülasyonu için uygulanan ultra düşük karbonhidratlı, yüksek fonksiyonel yağ içeren enerji formülasyonlarıdır (Paoli vd., 2013).

Adaptojenik ve Süper Gıda Destekli Beslenme: Oksidatif stresi dengelemek ve hücrel apoptozu yavaşlatmak amacıyla tıbbi mantarlar, algler ve bitkisel biyoaktif peptitlerin yüksek konsantrasyonda diyetle entegre edildiği koruyucu beslenme modelidir (Panossian & Wikman, 2010; Proestos, 2018).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Beslenme bilimi ve gıda teknolojisi, kitlesel üretim ve genel popülasyon odaklı "tek tip diyet" yaklaşımlarından, bireyin biyokimyasal, genetik ve fizyolojik parametrelerini temel alan "özel beslenme mühendisliği" paradigmasına doğru radikal bir dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşüm, modern toplumların karşı karşıya kaldığı kronik bulaşıcı olmayan hastalıklar pandemisi, gıda alerjileri ve intolerans prevalansındaki logaritmik artış, küresel demografik yaşlanma ve sürdürülebilirlik krizleri gibi çok boyutlu makro etkenler tarafından zorunlu kılınmıştır.

Bu bölümde ele alındığı üzere, gıda alerjilerinin karmaşık immünopatolojisi ile gıda intoleranslarının enzimatik ve farmakolojik metabolik, özel beslenme ürünlerinin tasarımında sıradan bir içerik ikamesinin ötesinde bir mühendislik yaklaşımını gerektirmektedir. Tıbbi ve klinik amaçlı gıdalardan, yaşam döngüsü beslenmesine, eliminasyon diyetlerinden, etik ve ekolojik temelli bitki bazlı sistemlere kadar uzanan geniş sınıflandırma yelpazesi, özel beslenmenin artık spesifik bir pazar olmaktan çıkıp halk sağlığı ve gıda endüstrisinin merkez üssü haline geldiğini kanıtlamaktadır.

Netice itibarıyla, özel beslenme ürünlerinin başarısı; hedeflenen patojenik veya istenmeyen bileşenlerin (glüten, laktoz, hayvansal protein vb.) matriks yapısından eliminasyonu esnasında meydana gelen tekstürel, reolojik ve duyuşsal kayıpların, ileri gıda hidrosoller, kontrollü polimerik ağlar ve nano-taşıyıcı sistemler gibi teknolojik araçlarla ne ölçüde kompanse edilebildiğine doğrudan bağlıdır.

Özel beslenme mühendisliği alanının bilimsel literatürde ve endüstriyel ölçekte sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi için geleceğe yönelik multidisipliner Ar-Ge ağlarının kurulması, reolojik ve tekstürel karakterizasyona hassasiyet gösterilmesi, ileri nanoteknoloji ve biyoteknolojik proseslerin entegrasyonu, kişiselleştirilmiş beslenme ve dijital entegrasyon ve mevzuat, validasyon ve temiz etiket dengesi gibi stratejik yaklaşımlar önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- AACC International. (1999). Method 44-15.02. Moisture—Air-Oven Methods. Approved Methods of Analysis (11th Ed.). Cereals & Grains Association.
- Aiking, H. (2011). Future protein supply. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2-3), 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.005>
- Bischoff, S. C., Austin, P., Boeykens, K., Chourdakis, M., Cuerda, C., Jonkers-Schuitema, C., Lichots, M., Nyulasi, I., Schneider, S.M., Stanga, Z., & Pironi, L. (2020). ESPEN guideline on home enteral nutrition. *Clinical Nutrition*, 39(1), 5-22. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.04.022>
- Boyce, J.A., Assa'ad, A., Burks, A.W., Jones, S.M., Sampson, H.A., Wood, R.A., Plaut, M., Cooper, S.F., Fenton, M.J., Arshad, S.H., Bahna, S.L., Beck, L.A., Byrd-Bredbenner, C., Camargo, C.A. Jr., Eichenfield, L., Furuta, G.T., Hanifin, J.M., Jones, C., Kraft, M., Levy, B.D., Lieberman, P., Luccioli, S., McCall, K.M., Schneider, L.C., Simon, R.A., Simons, F.E., Teach, S.J., Yawn, B.P., & Schwaninger, J.M. (2010). Guidelines for the diagnosis and management of food allergy in the United States: report of the NIAID-sponsored expert panel. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 126(6 Suppl), S1-S58. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.10.007>
- Cappa, C., Lucisano, M., & Mariotti, M. (2013). Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1657-1666. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.007>
- Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 871-890. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091>
- Catassi, C. & Fasano, A. (2012). Celiac disease. *The New England Journal of Medicine*, 367(25), 2419-2426. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1113994>
- Cichero, J. A., Lam, P., Steele, C. M., Hanson, B., Chen, J., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Kayashita, J., Lecko, C., Murray, J., Pillay, M., Riquelme, L. & Stanschus, S. (2017). Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia management: The IDDSI framework. *Dysphagia*, 32(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9758-y>
- Codex Alimentarius Commission. (1985). General Standard for the Labelling of and Claims for Prepackaged Foods for Special Dietary Uses (CODEX STAN 146-1985). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Health Organization (WHO).
- Comas-Basté, O., Sánchez-Pérez, S., Veciana-Nogués, M. T., Latorre-Moratalla, M., & Vidal-Carou, M. C. (2020). Histamine intolerance: *The current state of the art. Biomolecules*, 10(8), 1181. <https://doi.org/10.3390/biom10081181>
- Dekkers, B. L., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>
- European Parliament and of the Council. (2013). Regulation (EU) No 609/2013 of the European Parliament and of the Council of 12 June 2013 on food intended for infants and young children, food for special medical purposes, and total diet replacement for weight control. *Official Journal of the European Union*, L 181, 35-56.
- Gibney, M. J., Lanham-New, S. A., Cassidy, A., & Vorster, H. H. (2013). Introduction to Human Nutrition (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Gobbetti, M., Pontonio, E., Filannino, P., Rizzello, C. G., De Angelis, M., & Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Research International*, 110, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.010>
- Gómez-Ramírez, S., Brilli, E., Tarantino, G., & Muñoz, M. (2018). Sucrosomial® Iron: A new generation iron for improving oral supplementation. *Pharmaceuticals*, 11(4), 97. <https://doi.org/10.3390/ph11040097>

- Harju, M., Kallioinen, H., & Tossavainen, O. (2012). Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: *Technological aspects*. *International Dairy Journal*, 22(2), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.011>
- Katan, M. B., & De Roos, N. M. (2004). Promises and problems of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5), 369-377. <https://doi.org/10.1080/10408690490509609>
- Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., Collins, R., Cooke, M., Davis, J.N., Galvan, E., Greenwood, M., Lowery, L.M., Wildman, R., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- Loh, W., & Tang, M. L. K. (2018). The epidemiology of food allergy in the global context. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 2043. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092043>
- Martin, C. R., Ling, P. R., & Blackburn, G. L. (2016). Review of infant feeding: key features of breast milk and infant formula. *Nutrients*, 8(5), 279. <https://doi.org/10.3390/nu8050279>
- McClements, D. J. (2015). Nanoscale nutrient delivery systems for food applications: improving bioactive dispersibility, stability, and bioavailability. *Journal of Food Science*, 80(7), N1602-N1611. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12919>
- Misselwitz, B., Pohl, D., Frühauf, H., Fried, M., Vavricka, S. R., & Fox, M. (2013). Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment. *United European Gastroenterology Journal*, 1(3), 151-159. <https://doi.org/10.1177/2050640613484463>
- Mousa, A., Naqash, A., & Lim, S. (2019). Macronutrient and micronutrient intake during pregnancy: an overview of recent evidence. *Nutrients*, 11(2), 443. <https://doi.org/10.3390/nu11020443>
- Mozaffarian, D., Rosenberg, I., & Uauy, R. (2018). History of modern nutrition science—implications for current research, dietary guidelines, and food policy. *BMJ*, 361, k2392. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2392>
- Ney, D. M., Stroup, B. M., Clayton, M. K., Murali, S. G., Rice, G. M., Rohr, F., & Levy, H. L. (2016). Glycomacropeptide for nutritional management of phenylketonuria: a randomized, controlled, crossover trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 104(2), 334-345. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.135293>
- Ordovas, J. M., & Corella, D. (2004). Nutritional genomics. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 5, 71-118. <https://doi.org/10.1146/annurev.genom.5.061903.180008>
- Paoli, A., Rubini, A., Volek, J. S., & Grimaldi, K. A. (2013). Beyond weight loss: A review of the therapeutic uses of very-low-carbohydrate (ketogenic) diets. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(8), 789-796. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.116>
- Panossian, A., & Wikman, G. (2010). Effects of adaptogens on the central nervous system and the molecular mechanisms associated with their stress-protective activity. *Pharmaceuticals*, 3(1), 188-224. <https://doi.org/10.3390/ph3010188>
- Prescott, S. L., Pawankar, R., Allen, K. J., Campbell, D. E., Sinn, J. K., Fiocchi, A., Ebisawa, M., Sampson, H. A., Beyer, K., & Lee, B. W. (2013). A global survey of changing patterns of food allergy burden in children. *World Allergy Organization Journal*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1939-4551-6-21>
- Proestos, C. (2018). Superfoods: Recent data on their role in the prevention of diseases. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(3), 576-593. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.3.02>
- Sicherer, S. H., & Sampson, H. A. (2018). Food allergy: A review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 141(1), 41-58. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.003>
- Sura, L., Madhavan, A., Carnaby, G., & Crary, M. A. (2012). Dysphagia in the elderly: management and nutritional considerations. *Clinical Interventions in Aging*, 7, 287-298. <https://doi.org/10.2147/cia.s23404>
- Taylor, S. L., & Baumert, J. L. (2015). Worldwide food allergy labeling and detection of allergens in processed foods. *Chemical Immunology and Allergy*, 101, 227-234. <https://doi.org/10.1159/000373910>

- van Wegberg, A. M., MacDonald, A., Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Blau, N., Bosch, A. M., Burlina, A., Campistol, J., Feillet, F., Giżewska, M., Huijbregts, S.C., Kearney, S., Leuzzi, V., Maillot, F., Muntau, A.C., van Rijn, M., Trefz, F., Walter, J.H., & van Spronsen, F. J. (2017). The complete European guidelines on phenylketonuria: diagnosis and treatment. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 12(1), 162. <https://doi.org/10.1186/s13023-017-0685-2>
- Willett, W. C. (2002). Balancing life-style and genomics research for disease prevention. *Science*, 296(5568), 695-698. <https://doi.org/10.1126/science.1071055>
- Zopf, Y., Baenkler, H. W., Silbermann, A., Hahn, E. G., & Raithel, M. (2009). The differential diagnosis of food intolerance. *Deutsches Ärzteblatt International*, 106(21), 359-369. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2009.0359>

ÖZEL BESLENMEDE BİTKİ BAZLI ALTERNATİFLERİN BİYOPOLİMERİK YAKLAŞIMLARI

Barış Burak Albayrak*

GİRİŞ

Küresel gıda sistemlerindeki sürdürülebilirlik krizleri ve artan spesifik beslenme gereksinimleri (çölyak, fenilketonüri, besin alerjileri ve bitki bazlı diyet tercihleri), gıda mühendisliği araştırmalarında biyopolimerik yapıtaşlarına olan yönelimi hızlandırmıştır (de Vries vd., 2018; Song vd., 2022). Özel beslenme gereksinimi duyan bireyler için formüle edilen gıdaların tasarımıındaki temel zorluk, yalnızca besinsel yeterliliği sağlamak değil, hayvansal proteinlerin veya glutenin gıda matrisinde yarattığı makroskobik ve reolojik özellikleri bitkisel alternatiflerle simüle edebilmektir (Skendi vd., 2021; Sood vd., 2026).

Bitkisel kökenli globüler proteinler (soya, bezelye, su mercimeği) ile doğal nişastaların izole formlarının, hayvansal proteinlerin karakteristik yapısal davranışlarını tam anlamıyla yansıtmaları mümkün değildir (Delcour vd., 2012; Horstmann vd., 2017). Bu nedenle, bitki bazlı analogların geliştirilmesi basit bir bileşen ikamesinden ziyade, protein denatürasyonu, polimer çapraz bağlanması ve nişasta jelatinizasyon kinetiklerinin eşzamanlı kontrol edildiği karmaşık bir malzeme bilimi problemidir (Sridhar vd., 2023; Gulzar vd., 2025).

Bu bölümün amacı, özel beslenme profillerine uygun bitki bazlı gıda matrislerinin geliştirilmesindeki fiziksel ve kimyasal mekanizmaları incelemektir. Bölüm kapsamında bitkisel proteinlerin, karbonhidratların ve agro-endüstriyel yan ürünlerin özel beslenmedeki sınırlılıkları ve potansiyeli ele alınmıştır. Bu yaklaşımla, yalnızca duyuşal açıdan değil, aynı zamanda sindirilebilirlik ve biyoyararlanım açısından da optimize edilmiş yeni nesil formülasyonların üretimi için gerekli bakış açısı sunulmaktadır.

* Öğr. Gör. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Kütahya, baris.albayrak@dpu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0002-3709-6339

Özel beslenmede bitkisel proteinlerin yeri ve sınırlamaları

Özel beslenme hedefli gıda tasarımı bitkisel kaynaklar, spesifik immünolojik tetikleyicilerin (kazein, β -laktoglobulin vb.) yokluğu ve zengin diyet lifi/fitokimyasal profilleri nedeniyle öncelikli matris bileşenleri olarak konumlanmaktadır (Sridhar vd., 2023; Sharma vd., 2025). Özellikle klinik beslenmede ve yaşlılık dönemindeki sarkopeni yönetiminde, kolesterol içermeyen ve spesifik amino asit profillerine sahip bitkisel protein izolatlarına yönelik talep artmaktadır (López-Moreno & Kraselnik, 2025; Sood vd., 2026).

Fenilketonüri (PKU) hastalarının diyet yönetimi, fenilalanin alımının sıkı kontrolünü gerektirdiğinden, genellikle saflaştırılmış amino asit karışımlarına dayalı özel formülasyonlarla yürütülmektedir (Meena vd., 2023; Russo vd., 2025). Bu tür formülasyonların üretimi teknik açıdan karmaşık ve maliyetli olsa da, bitkisel proteinler hayvansal proteinlere kıyasla daha bol ve ekonomiktir (Singh vd., 2025; Meena & Adlakha, 2026). Bu nedenle, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir alternatif sunan bitkisel protein kaynaklarının modifikasyonu önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Örneğin, soya proteini üzerinde immobilize fenilalanin amonyak liyaz kullanılarak gerçekleştirilen enzimatik deaminasyon işlemlerinin, fenilalanin içeriğini önemli ölçüde azaltabildiği gösterilmiştir (Meena vd., 2023). Bu enzimatik biyoproseslerin endüstriyel ölçeğe taşınmasıyla elde edilen ekonomik avantajlar, özel beslenme gereksinimleri olan bireyler için daha erişilebilir çözümler sunabilmektedir (Meena & Adlakha, 2026).

Bitkisel proteinlerin besinsel profilini enzimatik yollarla optimize etmek başarılı sonuçlar verse de bu bileşenlerin formülasyonlarda hayvansal proteinlerin yerini alması yapısal farklılıklar nedeniyle oldukça zordur. Hayvansal kökenli proteinler (örneğin kazein miselleri veya kas miyofibrilleri), su-y yağ arayüzeylerinde doğal olarak yüksek yüzey aktiflik, jelleşme ve su bağlama kapasitesi sergiler (Moss vd., 2023; Gulzar vd., 2025; Sood vd., 2026). Buna karşılık, bitkisel proteinler (özellikle legüminöz globulinler ve albüminler) daha kompakt bir yapıya sahiptir; hidrofobik amino asit kalıntıları molekülün iç kısmında katlanmış halde bulunur. Bu yapısal farklılıklar, gıda matrisi içerisinde çözünürlük problemlerine ve faz ayrışmalarına yol açabilmektedir (Skendi vd., 2021; Gulzar vd., 2025). Sonuç olarak nihai üründe istenmeyen “kumlu” doku kusurları ortaya çıkabilmektedir (Moss vd., 2023). Örneğin, soya bazlı

peynir alternatiflerinde bu tür taneli ve kumlu doku kusurlarının varlığı raporlanmış; ancak bu problemin laktik asit fermentasyonu ve enzimatik hidroliz kombinasyonu ile aşılarak daha homojen, sürülebilir ve duysal açıdan gelişmiş bir yapı elde edilebileceği gösterilmiştir (Li vd., 2013).

Dokusal kusurların bu tür biyoteknolojik müdahalelerle giderilmesi matrisin duysal kabulünü sağlasa da bitkisel bazlı diyetlerin özel beslenmeye entegrasyonundaki bir diğer önemli sınırlayıcı, ham matrislerde bulunan anti-nutrisyonel faktörlerdir (ANF). Baklagil ve tahıl bazlı formülasyonlarda yüksek oranda bulunan fitik asit, kalsiyum, demir ve çinko gibi esansiyel minerallerle çözünmeyen kompleksler oluşturarak biyoyararlanımı düşürür. Ek olarak, tripsin ve kimotripsin inhibitörleri gastrointestinal sistemde proteolitik enzimlerin aktivitesini sınırlayarak protein sindirilebilirliğini azaltır (Ahmad vd., 2025; Yılmaz Tuncel vd., 2025). Bu durum, bitkisel proteinlerin Sindirilebilir Esansiyel Amino Asit Skoru'nu (DIAAS) düşürerek özellikle yüksek biyoyararlanımlı proteine ihtiyaç duyan geriatik ve klinik popülasyonlar açısından risk oluşturmaktadır (Hoehnel vd., 2022; Opazo-Navarrete vd., 2025). Bu nedenle, bitkisel proteinlerin özel beslenme uygulamalarında etkin şekilde kullanılabilmesi, yalnızca uygun kaynak seçimine değil, aynı zamanda fraksiyonlama ve yapılandırma süreçlerini içeren çok aşamalı bir mühendislik yaklaşımına bağlıdır (Akharume vd., 2021; Hoehnel vd., 2022).

Bitkisel protein kaynakları ve fraksiyonlama stratejileri

Bitkisel proteinler, özel beslenme hedefli gıdalarda hayvansal proteinlerin sürdürülebilir alternatifi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır (Singh vd., 2025). Soya, bezelye, nohut ve mercimek gibi baklagiller bu kategorinin en çok çalışılan temsilcileridir (Mäkinen vd., 2016). Soya proteini yaklaşık %36-40 ham protein içeriği ve tüm esansiyel aminoasitleri bünyesinde barındırmasıyla bitkisel protein pazarında lider konumdadır (Sarathy vd., 2025). Toplam proteinin %70'ini oluşturan glisin (11S) ve β -konglisinin (7S), soya proteininin başlıca fraksiyonlarıdır (Mistry vd., 2022; Xiao vd., 2023). Özel beslenmede soya alerjisi kaygıları nedeniyle, bezelye proteinleri de önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Harasym vd., 2025). Bezelye protein izolatlarında legümin (11S) ve visilin (7S) gibi globüler fraksiyonlar baskındır (Tang vd., 2023; Xiao vd., 2023). Geleneksel kaynakların dışında, yeni nesil kaynaklardan kenevir proteini arginin açısından zengin olmakla birlikte

sülfürlü amino asitler bakımından sınırlıyken, su mercimeği ise içerdiği RuBisCO enzimi sayesinde dengeli amino asit profili sunmaktadır (Gorissen vd., 2018; Habeeb vd., 2025).

Bitkisel proteinlerin emülsifikasyon, jel oluşturma ve köpürme kapasiteleri gibi tekno-fonksiyonel özellikleri; proteinin üç boyutlu yapısı, yüzey hidrofobikliği ve yük dağılımı ile büyük ölçüde ilişkilidir (Nikbakht Nasrabadi vd., 2021). Globüler yapıdaki bitkisel proteinler, yüzey hidrofobik bölgelerinin kısmi denatürasyon ile açığa çıkması durumunda yağ-su arayüzeyinde daha etkin bir tutulum göstererek emülsiyon kapasitesi ve stabilitesini arttırabilir (Nikbakht Nasrabadi vd., 2021; Ma vd., 2022).

Fraksiyonlama teknikleri ile ulaşılan saflık derecesi (konsantre, izolat veya hidrolizat formları), bitkisel proteinlerin özel beslenme formülasyonlarındaki nihai uygulama alanlarını büyük ölçüde belirlemektedir (De Angelis vd., 2024; Rivera vd., 2024). Bu fraksiyonların endüstriyel ayrıştırma süreçlerine yansımaları açısından en yaygın yaklaşım, izoelektrik çöktürmedir. Alkali ortamda çözündürülen proteinler, izoelektrik noktalarına yaklaştırılarak çöktürülür. Ancak bu yöntem, protein yapısında geri dönüşümsüz denatürasyona neden olabilir ve fonksiyonel açıdan değerli albumin fraksiyonlarının kaybına yol açabilir (Nikbakht Nasrabadi vd., 2021; Rashwan vd., 2025). Alternatif olarak kullanılan ultrafiltrasyon (UF) gibi membran teknolojileri, proteinlerin nötr pH koşullarında ayrılmasına olanak tanır. Bu yöntemle elde edilen protein izolatları, daha yüksek çözünürlük ve daha iyi fonksiyonel özellikler sergileyebilmektedir (Nikbakht Nasrabadi vd., 2021; Bou vd., 2022).

Baklagil izolatları güçlü su/yağ bağlama, emülsifikasyon ve jelleşme kapasiteleri sayesinde, kazein veya süt yağı kullanılmayan vegan peynir ve vegan dondurma gibi hayvansal ikame (dairy-free) matrislerin tasarımında önemli rol oynamaktadır (Harasym vd., 2025; Verma vd., 2025). Diğer taraftan, enzimatik hidroliz sonucu alerjen epitopları parçalanarak düşük molekül ağırlıklı peptitlerce zenginleşen soya protein hidrolizatları, yüksek çözünürlük ve sindirilebilirlik özellikleri nedeniyle hipoalerjenik bebek formüllerinde klinik bir öneme sahiptir (Harjani vd., 2025; Ashaolu vd., 2026). Ayrıca, özel diyetlerde hedefe yönelik besin iletimi gerektiren durumlarda, mısır zeini gibi hidrofobik karakteri yüksek prolaminler, biyoaktif bileşenlerin korunmasını sağlayan protein bazlı nanotaşıyıcı

(nanocarrier) sistemlerin geliştirilmesinde yenilikçi bir matris olarak konumlanmaktadır (Elzoghby vd., 2012; Akharume vd., 2021).

Bitkisel proteinlerin jelleşme ve matris yapılandırma mekanizmaları

Jel oluşturma mekanizması ise ısı denatürasyon sıcaklığına erişilmesinin ardından disülfid (S–S) köprüleri, hidrofobik etkileşimler ve elektrostatik kuvvetler aracılığı ile gerçekleşen protein agregasyonunu kapsamaktadır (Taha vd., 2022; Rashwan vd., 2025). Bu aşamada protein fraksiyonları arasındaki yapısal farklar belirleyici rol oynamaktadır. Soya glisinin fraksiyonu, yüksek S–S köprüsü oluşturma kapasitesi sayesinde daha sert ve elastik jeller meydana getirirken, bezelye visilin fraksiyonu S–S köprüsünden yoksun olduğundan daha zayıf, ancak daha şeffaf jel performansı göstermektedir (Chang vd., 2022; Ma vd., 2022; McLauchlan vd., 2024).

Soya ve bezelyede bulunan bu globüler proteinler, iç yapılarında hidrofobik amino asitlerin yoğunluğu nedeniyle kompakt bir konformasyona sahiptir ve farklı fraksiyonlama süreçlerinde kendilerine özgü davranışlar sergiler (Mistry vd., 2022; Tang vd., 2023). Bu yapısal farklılıkların anlaşılması, hedeflenen doku özelliklerine ulaşmak için uygun protein kaynağının ve işleme koşullarının seçilmesinde kritik öneme sahiptir.

Fraksiyonlama ile elde edilen bitkisel proteinlerin özel beslenme uygulamalarına uygun fonksiyonel yapılara dönüştürülmesi, ileri düzey tekstürizasyon ve doku mühendisliği yaklaşımlarını gerektirmektedir (Sridhar vd., 2023; Gulzar vd., 2025). Bu amaçla yüksek nemli ekstrüzyon pişirme (HMEC), shear-cell sistemleri, eğirme teknolojileri ve 3B gıda yazdırma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Varayil vd., 2024). Bu teknolojiler, proteinlerin kompakt globüler yapısını yüksek mekanik ve termal kuvvetler aracılığıyla denatüre ederek hidrofobik bölgelerin ve reaktif fonksiyonel grupların açığa çıkmasını sağlamaktadır. Böylece protein zincirleri arasında hidrofobik etkileşimler, hidrojen bağları ve S–S bağları yeniden organize olmakta; anizotropik (yönlenmiş) protein ağlarının oluşumu desteklenmektedir. Özellikle yüksek kayma (shear) ve termomekanik stres altında protein zincirleri akış yönünde uzayarak fibriller yapılar meydana getirmekte, bu süreç bitkisel matrisin hayvansal

dokulara benzer lifli yapı ve çiğnenebilirlik özellikleri kazanmasında belirleyici rol oynamaktadır (Moss vd., 2023; Sood vd., 2026).

Söz konusu işlemler yalnızca ürünün yapısal ve duyuşal özelliklerini geliştirmekle kalmamakta; aynı zamanda tripsin inhibitörleri gibi anti-nutrisyonel faktörlerin inaktivasyonuna, proteinlerin kontrollü denatürasyonuna ve sindirim enzimlerinin protein matriksine erişiminin artmasına katkı sağlamaktadır (Sridhar vd., 2023; Ahmad vd., 2025; Gulzar vd., 2025). Böylece protein sindirilebilirliği ve DIAAS iyileştirilebilmekte, biyoyararlanımı artırılmış özel beslenme formülasyonlarının geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Akharume vd., 2021; Farwa vd., 2025; Opazo-Navarrete vd., 2025).

Özel beslenmede karbonhidrat bazlı yaklaşımlar

Özel beslenme formülasyonlarında karbonhidratlar ve özellikle nişasta bazlı biyopolimerler, yalnızca enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda ürünün yapısal bütünlüğünü, reolojik davranışını ve sindirim profilini belirleyen temel bileşenler arasında yer almaktadır (Calderón de la Barca vd., 2015; Vieira vd., 2021). Çölyak hastalarına yönelik glutenin elimine edildiği formüller, disfajiye yönelik kıvamlandırılmış sistemler ve kontrollü glisemik yanıt hedeflenen diyabetik formülasyonlar gibi farklı uygulamalarda nişasta fazı, ürün stabilitesi ve tüketim performansı açısından belirleyici rol üstlenmektedir (Barca vd., 2015; Asiri vd., 2022; Calderón de la Jia vd., 2025).

Doğal nişastalar; (i) düşük termal ve mekanik stabilite, (ii) dondurma-çözündürme döngülerinde yüksek retrogradasyon ve sinerezis eğilimi, (iii) asidik ortamlarda viskozite kaybı ve (iv) yüksek glisemik indeks gibi kısıtlayıcı faktörler nedeniyle, glutensiz ürünler gibi özel beslenme sistemlerinde her zaman istenen fonksiyonel performansı gösterememektedir. Bu nedenle modifiye nişastalar, viskozite kontrolü, su tutma kapasitesi, tekstürel stabilite ve sindirim hızının düzenlenmesi amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (Calderón de la Barca vd., 2015; Asiri vd., 2022; Punia Bangar vd., 2024).

Glütensiz ve klinik formülasyonlarda reolojik kontrol

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, nişastanın yalnızca pasif bir dolgu bileşeni olmadığını; diğer biyopolimerlerle oluşturduğu moleküler etkileşimler sayesinde ürünün işleme özelliklerini, raf ömrünü ve besinsel davranışını doğrudan etkileyen aktif bir yapı bileşeni olduğunu

göstermektedir (Subroto vd., 2023; Lund, 2025). Çölyak hastalığı veya glüten hassasiyeti olan bireyler için geliştirilen formülasyonlardaki temel sorun, buğday bazlı sistemlerdeki gliadin ve glutenin fraksiyonları tarafından oluşturulan viskoelastik ağ yapısının, gaz tutma kapasitesinin ve nihai ürün hacminin yokluğudur (Cappelli vd., 2020). Glütenein yokluğunda bu hiyerarşik rol, büyük ölçüde karbonhidrat polimerlerine devredilmekte ve nişasta matrisin ana fazını oluşturan bileşen haline gelmektedir (Horstmann vd., 2017).

Ancak glütensiz matrislerde nişasta ile bitkisel proteinlerin (soya, bezelye vb.) birlikte kullanımı, su moleküllerine karşı gelişen afinite farkı nedeniyle sistemde moleküler düzeyde dengesizlikler yaratabilmektedir. Nişasta granülleri ile proteinlerin hidrofilik bölgeleri arasında su molekülleri için gerçekleşen rekabet; faz ayrışmasına, düzensiz jelleşme davranışına ve nihai üründe erken bayatlama ile dokusal sertleşmeye yol açmaktadır. Bu nedenle, spesifik modifiye nişastaların kullanımı sistemdeki faz dengesizliğinin kontrolünde büyük rol oynamaktadır (Cappelli vd., 2020; Subroto vd., 2023; Lund, 2025).

Nişasta modifikasyonları, granül morfolojisini ve amiloz/amilopektin zincirlerinin moleküler organizasyonunu değiştirerek jelatinizasyon kinetiğinin, viskozite gelişiminin ve su bağlama kapasitesinin kontrollü şekilde yönetilmesini sağlar (Subroto vd., 2023; Lund, 2025). Fiziksel modifikasyon yöntemlerinden ısı-nem uygulamaları (HMT) ve tavlama, nişasta granül yapısını bozmadan polimer zincirlerinin kristalinitesini ve kristal içi düzenini yeniden yapılandırır. Bu durum nişastanın termal ve mekanik stabilitesini artırırken, ısıtma işlem sırasında viskozitenin aniden yükselmesini engelleyerek prosesin daha kontrollü yürütülmesine olanak tanır (Punia Bangar vd., 2022; Subroto vd., 2023; Lund, 2025).

Kimyasal modifikasyon tekniklerinden asetilasyon, düşük sıcaklıklarda stabilizeyi ve su tutma kapasitesini artırırken, çapraz bağlama (cross-linking) polimer ağını güçlendirerek yüksek kesme kuvvetlerine ve uzun süreli ısıtma işlemlerine karşı yapısal direnç sağlar (Subroto vd., 2023; Punia Bangar vd., 2024). Fiziksel ve kimyasal nişasta modifikasyonlarının ürün kalitesi üzerindeki bu belirleyici rolü, glütensiz ekmeklerde bayatlama dinamiklerini araştıran Lund (2025) tarafından da ortaya konmuştur. Çalışmada, fraksiyone doğal patates nişastasının hızlı retrogradasyona bağlı olarak ekmek sertliğini arttırdığı; çapraz bağlı modifiye tapiyoka nişastasının ise bayatlamaya karşı güçlü bir direnç

göstererek dokuyu koruduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, modifikasyon türünün viskozite üzerindeki etkisine dikkat çekilmiş; asetillenmiş modifiye patates nişastasının yarattığı yüksek hamur viskozitesinin fırınlama sırasında gaz genleşmesini engelleyerek ekmek hacmini düşürdüğü bildirilmiştir.

Modifiye nişastalar, özellikle yutma güçlüğü (disfaji) klinik tablosuna sahip geriatrik veya nörolojik hastalar için geliştirilen kıvam artırılmış gıdalarda da belirleyici öneme sahiptir. Bu sistemlerde modifiye nişasta, hızlı bir hidrasyonla kısa sürede viskozite oluştururken, güvenli yutma için temel gereksinimlerden biri olan psödoplastik (kayma gerilimi altında incelen) akış davranışını destekler (Li vd., 2024). Bununla birlikte, disfaji yönetiminde koyulaştırıcıların etkinliği yalnızca kayma reolojisi ile değil, aynı zamanda uzama reolojisi ve tribolojik (sürtünmebilimsel) özelliklerle de yakından ilişkilidir (Nishinari vd., 2019; Vieira vd., 2021). Gamonpilas vd. (2023), ksantan gam bazlı koyulaştırıcıların, modifiye nişasta bazlı olanlara kıyasla daha yüksek uzama viskozitesi ve daha iyi kayganlaştırma kapasitesi sergilediğini; bu nedenle modifiye nişastaların güvenli yutma fizyolojisini tam anlamıyla taklit edebilmek için tek başına yetersiz kalabileceğini göstermiştir.

Glütensiz matrislerde de nişastaların hidrokolloidlerle sinerjistik kombinasyonlarından yararlanılır. Özellikle hidroksipropil metil selüloz (HPMC), keten tohumu zıncı ve ksantan gam gibi hidrokolloidlerle nişasta matrisi arasında kurulan moleküler etkileşimler, glütensiz ürünlerde geçici bir viskoelastik ağ oluşturarak fermantasyon gazlarının matris içinde hapsedilmesini sağlar (Vieira vd., 2021). Bu sinerjik yaklaşım, gaz hücrelerinin duvarlarını stabilize ederek ürünün spesifik hacmini iyileştirir, tekstürel yumuşaklığı optimize eder ve retrogradasyon hızını düşürerek bayatlama sürecini geciktirir (Vieira vd., 2021; González vd., 2025). Yakın tarihli bir çalışmada, ön hidrate edilmiş pirinç taneleri baz alınarak üretilen glütensiz ekmeklerde ksantan gam ve doğal manyok nişastasının hem başlangıç sertliğini azaltma hem de 48 saatlik depolama sonrası bayatlamayı geciktirme açısından en olumlu sonuçları verdiği; buna karşılık kimyasal modifiye nişastaların (OSA) tek başına kontrol grubuna kıyasla belirgin bir üstünlük sağlamadığı rapor edilmiştir (González vd., 2025).

Dirençli nişasta ve glisemik yanıtın yönetimi

Diyabet ve insülin direnci gibi metabolik durumların yönetiminde, gıdalardaki karbonhidratların sindirim hızı ve emilim profili büyük önem taşımaktadır (Jia vd., 2025). Bu bağlamda dirençli nişasta (DN), ince bağırsakta sindirilemeden kolona ulaşarak burada fermente olan (fizyolojik olarak diyet lifi işlevi gören) bir fonksiyonel bileşen olarak öne çıkmaktadır (Yan vd., 2024). Dirençli nişasta, yapısal özelliklerine göre beş tipte sınıflandırılmaktadır: fiziksel olarak erişilemeyen nişastalar (DN1), doğal granüler yapıdaki nişastalar (DN2), retrograde nişastalar (DN3), kimyasal olarak modifiye edilmiş nişastalar (DN4) ve amiloz-lipit kompleksleri (DN5). Her bir DN tipinin farklı teknolojik ve besinsel avantajlar sunduğu bilinmektedir (Pasqualoni vd., 2024; Yan vd., 2024; Volpe vd., 2025).

Gıda mühendisliği uygulamaları açısından özellikle DN3 ve DN4 tipleri, proses koşullarıyla kontrollü şekilde artırılabilmekte ve ürünün glisemik indeksinin (GI) düşürülmesinde kilit rol oynamaktadır (Jia vd., 2025). Literatür, DN tipinin glisemik yanıt üzerindeki etkisinin sadece nişastanın botanik kaynağına değil, uygulanan modifikasyon yöntemine de bağlı olduğunu göstermektedir (Pasqualoni vd., 2024; Jia vd., 2025). Pasqualoni vd. (2024), ekmek formülasyonlarında kimyasal modifiye tapiyoka DN4'ün düşük prediktif glisemik indeks ($pGI < 55$) sağladığını, tapiyokadan elde edilen retrograd DN3'ün düşük pGI üst sınırına (55) kadar düşebildiğini, buna karşılık mısır kaynaklı DN3'ün yüksek pGI (>70) sınıfında kaldığını bildirmiştir. Bu teknolojik bulgular, *in vivo* klinik çalışmalarla da desteklenmektedir. Wolever vd. (2023), çapraz bağlı fosforillenmiş DN4 buğday nişastası ile hazırlanan kurabiyelerin, sağlıklı bireylerde tokluk kan şekeri ve insülin salınımını anlamlı ölçüde sınırladığını rapor etmiştir.

Glütensiz ve bitki bazlı ürünlerde DN kullanımı ise hem yapısal hem de besinsel hedefleri aynı anda karşılama potansiyeli taşımaktadır (Volpe vd., 2025). Örneğin Volpe vd. (2025), yüksek kesme kuvveti içeren ekstrüzyon işlemi sonrasında dahi sorgumdan elde edilen tavlanmış DN3'ün dirençli yapısını koruyabildiğini; bunun glütensiz atıştırılmalıkların lif profilini iyileştirmek için uygun bir bileşen olduğunu bildirmiştir. Bu teknolojik yaklaşım sayesinde, glütensiz formülasyonlarda bir yandan istenen tekstürel özellikler korunurken diğer yandan düşük glisemik yanıt elde edilebilmektedir (Pasqualoni vd., 2024; Volpe vd., 2025). Ayrıca, DN'nin

kolonik fermantasyonu sonucu açığa çıkan kısa zincirli yağ asitleri (SCFA), yalnızca bağırsak florasını desteklemekle kalmayıp genel kan şekeri dengesine de prebiyotik düzeyde katkı sağlamaktadır (Pasqualoni vd., 2024; Yan vd., 2024).

Agro-endüstriyel yan ürünlerin özel beslenmede değerlendirilmesi

Agro-endüstriyel yan ürünlerin (meyve-sebze posaları, tahıl kepekleri, baklagil ve yağlı tohum yan ürünleri, bitkisel süt alternatifi üretim kalıntıları) yüksek lif, fenolik bileşik ve protein fraksiyonu içeriği nedeniyle özel beslenme formülasyonlarında fonksiyonel bileşen olarak değerlendirilmesi, sürdürülebilir gıda üretimi ve döngüsel biyoekonomi açısından giderek önem kazanmaktadır (Raftu vd., 2023; Shawky vd., 2025). Fenilketonüri, besin alerjileri, diyabet, obezite ve geriatrik malnütrisyon gibi durumlara yönelik geliştirilen bazı yan ürün uygulamaları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Özel beslenme durumlarına yönelik bazı agro-endüstriyel yan ürün uygulamaları

Özel Beslenme Durumu	Yan Ürün	Temel Sonuçlar	Referans
Düşük proteinli matris tasarımı (Fenilketonüri, PKU)	Antep fıstığı işleme atığı (yeşil kabuk)	Düşük fenilalaninli kurabiyeler üretilmiş; eş zamanlı olarak pektin ve fenolik madde geri kazanımı sağlanmıştır.	(Kazemi vd., 2023)
Hipoalerjenik peptit üretimi (Baklagil, yağlı tohum alerjileri)	Nohut, bezelye ve beyaz fasulye yan ürünleri	Enzimatik hidroliz ile alerjenik epitoplar parçalanarak, alerjenik potansiyel önemli ölçüde azaltılmıştır.	(Calcinai vd., 2022)
	Fındık yağı endüstrisi yan ürünü (küspe)	Yüksek basınç homojenizasyonu ve pH kaydırma işlemleri ile fındık proteini izolatlarının alerjenitesi azaltılmıştır.	(Atalar vd., 2026)
	Siyah frenk üzümü, aronya, elma posası	İnsan çalışmasında posa oranı arttıkça kurabiyelerin glisemik indeksi düşürülmüştür (elma posasında %49,1'den %37,2'ye).	(Raczowska vd., 2024)
Glisemik ve metabolik yanıt yönetimi (Diyabet, obezite, metabolik sendrom)	Zeytin yağı endüstrisi yan ürünü (zeytin posası)	Ekstrakte edilen polisakkaritlerin, <i>in vitro</i> koşullarda α -glukozidaz aktivitesini inhibe ederek hipoglisemik etki gösterdiği saptanmıştır.	(Zhao vd., 2026)
	Üzüm posası ve ceviz kabuğu	İn vitro sindirim modelinde, üzüm posası ve ceviz kabuğu ilaveli ekmeklerin glisemik indeksinin düştüğü gösterilmiştir.	(Subiria-Cueto vd., 2025)
Biyoyararlanımı artırılmış besin dağıtım sistemleri (Geriatrik malnütrisyon, gastrointestinal hastalıklar)	Pirinç kepeği	Enzimatik modifikasyonla elde edilen arabinoksilanın, ileri yaş bireylerde bağışıklık fonksiyonlarını destekleyen güvenli ve etkili bir nutrasötik olduğu raporlanmıştır.	(Ooi vd., 2023)
	Zeytin ve domates posaları	Zeytin posasından polifenol ve domates posasından likopen ekstraktı kullanılarak yağ-su nanoemülsiyonları ile enkapsülasyon sağlanmış, biyoerişilebilirliği yüksek fonksiyonel içecek üretilmiştir.	(Katsouli vd., 2024)

Agro-endüstriyel yan ürünlerin farklı işleme teknolojileri ile değerlendirilmesi, protein, polisakkarit ve fenolik bileşiklerin yapısal özelliklerini değiştirerek ürünlerin fonksiyonel özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu kapsamda enzimatik hidroliz, yüksek basınç homojenizasyonu, pH kaydırma, mikronizasyon, fermantasyon ve ekstrüzyon gibi işlemler; alerjenik potansiyelin azaltılması, lif fonksiyonelliğinin geliştirilmesi ve fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır (Dey vd., 2021; Calcinaï vd., 2022; Katsouli vd., 2024; Kumar vd., 2024; Atalar vd., 2026).

Tablo 1’de verilen uygulamaların yanı sıra, agro-endüstriyel yan ürünler glutensiz formülasyonlarda da kullanılmaktadır. Meyve posalarının glutensiz ekmek ve ekstrüde ürünlere eklenmesi, toplam fenolik madde, flavonoid, antosiyanin ve diyet lifi içeriğini artırabilmektedir. Örneğin kuru elma posası ile zenginleştirilmiş glutensiz ekmeklerde fenolik bileşik içeriğinin ve duysal kabulün arttığı bildirilirken, kiraz, siyah frenk üzümü ve aronya posalarının ekstrüde glutensiz atıştırılmalıklarda polifenol ve antosiyanin düzeylerini yükselttiği raporlanmıştır (Gumul vd., 2021; Gumul vd., 2023).

Bu matrislerde uygulanan ekstrüzyon işlemi, yüksek kesme kuvveti ve sıcaklık etkisiyle hücre duvarı bileşenlerinin parçalanmasına bağlı olarak bağlı fenolik bileşiklerin serbestleşmesini destekleyebilmekte ve böylece fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğini artırabilmektedir (Dey vd., 2021; Gumul vd., 2023). Benzer şekilde, tahıl kepeklerinde bulunan arabinoksilan ve β -glukan gibi lif bileşenlerinin fonksiyonelliği de bu işlemlerle modifiye edilebilmektedir. Lif ve polifenol bakımından zenginleştirilen bu matrisler, özellikle diyabet ve metabolik sendrom yönetimi açısından önem taşımaktadır. Çözünür lif fraksiyonlarının bağırsakta viskoz bir yapı oluşturması, sindirim enzimlerinin substrata erişimini sınırlandırarak glikoz ve lipid difüzyonunu yavaşlatabilmektedir. Bu durum postprandiyal glisemik yanıtın kontrolüne katkı sağlayabilmektedir (Dey vd., 2021; Raşu vd., 2023; Kumar vd., 2024). Ayrıca fenolik ve polisakkarit bakımından zengin yan ürünlerden elde edilen bileşenlerin α -glikozidaz inhibisyonu ve bağırsak fermantasyonunun modülasyonu gibi mekanizmalar üzerinden metabolik yanıt üzerinde etkili olabileceği belirtilmektedir (Subiria-Cueto vd., 2025; Zhao vd., 2026).

Benzer mekanizmalar, soya bazlı bitkisel süt alternatifi üretim yan ürünü olan okara için de bildirilmektedir. Okara, yüksek düzeyde diyet lifi, protein ve biyoaktif bileşik içermesi nedeniyle fonksiyonel gıda formülasyonlarında değerlendirilmektedir (Karim vd., 2025). Enzimatik modifikasyon, yüksek basınç uygulamaları, mikronizasyon ve fermantasyon işlemleri ile çözünür lif oranının artırılması sonucunda, su tutma kapasitesi, viskozite ve tekstürel özelliklerde iyileşme sağlanabilmektedir. Aynı zamanda bu modifikasyonların prebiyotik etki üzerinden obezite, diyabet ve hiperlipidemi riskinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirtilmektedir (Swallah vd., 2021; Karim vd., 2025).

Agro-endüstriyel yan ürünler yalnızca lif kaynağı olarak değil, aynı zamanda fenolik bileşiklerin geri kazanımı açısından da önemli bir potansiyel taşımaktadır. Narenciye, üzüm, nar ve litchi gibi meyve işleme yan ürünlerinden elde edilen polifenolik ekstraktların antioksidan ve antienflamatuvar özellikleri nedeniyle fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalarda değerlendirildiği bildirilmektedir (Samtiya vd., 2021; Ligarda-Samanez vd., 2025; Soni vd., 2026).

Sonuç olarak, agro-endüstriyel yan ürünlerin özel beslenme amaçlı değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik, fonksiyonellik ve sağlık etkilerini bir araya getiren çok yönlü bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen etkilerin kullanılan yan ürünün kimyasal yapısına, uygulanan proses koşullarına ve hedef gıda matrisine bağlı olarak değişiklik göstermesi nedeniyle, bu sistemlerin standardizasyonu ve biyoyararlanım temelli optimizasyonuna yönelik daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Özel beslenme gereksinimlerine yönelik bitki bazlı formülasyonların geliştirilmesi; besinsel yeterlilik, reolojik performans ve biyoyararlanımın birlikte optimize edilmesini gerektiren bütüncül bir yaklaşım haline gelmiştir. Bu bölüm kapsamında incelenen güncel literatür, bitkisel proteinlerin düşük çözünürlük ve anti-nutrisyonel kısıtlamalarının, ileri fraksiyonlama ve tekstürizasyon (ekstrüzyon vb.) yöntemleriyle mekanistik olarak aşılabileceğini göstermektedir.

Eşzamanlı olarak, hayvansal proteinlerin veya glütenin yokluğunda gıda matrisinin ihtiyaç duyduğu viskoelastik ağ yapısı ve psödoplastik akış davranışı; modifiye ve dirençli nişastaların hidrokolloidlerle kurduğu sinerjik etkileşimler sayesinde başarıyla simüle edilebilmektedir. Elde

edilen bu teknolojik altyapının, agro-endüstriyel yan ürünlerden kazanılan fonksiyonel lif ve fenolik bileşiklerle zenginleştirilmesi, sürdürülebilirliği artırmanın yanı sıra, bağırsakta viskoz faz oluşumu üzerinden glisemik yanıtın kontrolü ve metabolik sendrom yönetimi gibi spesifik klinik hedeflere ulaşılmasını sağlamaktadır.

Gelecekteki araştırmaların, protein-nişasta-lif-fenolik bileşenlerden oluşan çoklu matrislerin etkileşim mekanizmalarının daha iyi aydınlatılmasına odaklanması gerekmektedir. Buna paralel olarak, geliştirilen sistemlerin klinik etkinliğinin *in vivo* çalışmalarla doğrulanması ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, bu yaklaşımların pratikteki başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, Z., Ahmad, A., Subtain, M., & Naeem, M. (2025). Antinutritional characterization in plant foods; health consequences and reduction strategies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19(9), 6264–6283. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03432-1>
- Akharume, F. U., Aluko, R. E., & Adediji, A. A. (2021). Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 198–224. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12688>
- Ashaolu, T. J., Lee, C., Tarhan, O., Rashidinejad, A., & Jafari, S. M. (2026). Revisiting the nutritional and health-promoting properties of soy protein-based food formulations for infants and adults. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 25(2). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70407>
- Asiri, S. A., Ulbrich, M., & Flöter, E. (2022). Effect of pre-swelling and freezing/thawing cycles on the structure of molecular, morphological, and functional properties of potato starch. *Journal of Food Biochemistry*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/jfbc.14080>
- Atalar, I., Elen, H., Gul, O., Kurt, A., Aksu, M. I., & Konar, N. (2026). High-pressure homogenization and pH-shifting modification of hazelnut protein isolates: Functional enhancement, allergenicity reduction, and probiotic microencapsulation performance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.70675>
- Bou, R., Navarro-Vozmediano, P., Domínguez, R., López-Gómez, M., Pinent, M., Ribas-Agustí, A., Benedito, J. J., Lorenzo, J. M., Terra, X., García-Pérez, J. V., Pateiro, M., Herrera-Cervera, J. A., & Jorba-Martín, R. (2022). Application of emerging technologies to obtain legume protein isolates with improved techno-functional properties and health effects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2200–2232. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12936>
- Calcinai, L., Bonomini, M. G., Leni, G., Faccini, A., Puxeddu, I., Giannini, D., Petrelli, F., Prandi, B., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2022). Effectiveness of enzymatic hydrolysis for reducing the allergenic potential of legume by-products. *Scientific Reports*, 12(1), 16902. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21296-z>
- Calderón de la Barca, A. M., Islas-Rubio, A. R., Heredia, N. G., & Cabrera-Chávez, F. (2015). Enzymatic modification of proteins and starches for gluten-free and low-glycaemic-index foods for special dietary uses. R. Rai V (Ed.), *Advances in Food Biotechnology* içinde (s. 133–144). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118864463.ch08>
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A Systematic review of gluten-free dough and bread: dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 10(18), 6559. <https://doi.org/10.3390/app10186559>
- Chang, L., Lan, Y., Bandillo, N., Ohm, J.-B., Chen, B., & Rao, J. (2022). Plant proteins from green pea and chickpea: Extraction, fractionation, structural characterization and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 123, 107165. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107165>
- De Angelis, D., Latrofa, V., Caponio, F., Pasqualone, A., & Summo, C. (2024). Techno-functional properties of dry-fractionated plant-based proteins and application in food product development: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(4), 1884–1896. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13168>
- de Vries, H., Axelos, M. A. V., Sarni-Manchado, P., & O'Donohue, M. (2018). Meeting new challenges in food science technology: The development of complex systems approach for food and biobased research. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 46, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.004>
- Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., & Lagrain, B. (2012). Wheat

- gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 469–492. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101303>
- Dey, D., Richter, J. K., Ek, P., Gu, B.-J., & Ganjyal, G. M. (2021). Utilization of food processing by-products in extrusion processing: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.603751>
- Elzoghby, A. O., Samy, W. M., & Elgindy, N. A. (2012). Protein-based nanocarriers as promising drug and gene delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 161(1), 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.04.036>
- Farwa, U., Jabeen, A., Goksen, G., Anwar, F., Ayub, M. A., & Zubair, M. (2025). Alternative proteins: a review of cutting-edge advances in extraction methods, taste acceptance, Nutrition, and Health Applications. *ACS Food Science & Technology*, 5(8), 3012–3029. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.5c00293>
- Gamonpilas, C., Kongjaroen, A., & Methacanon, P. (2023). The importance of shear and extensional rheology and tribology as the design tools for developing food thickeners for dysphagia management. *Food Hydrocolloids*, 140, 108603. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108603>
- González, L. C., Álvarez Barreto, C. I., & Tolaba, M. P. (2025). Effect of different hydrocolloids on the quality and aging of gluten-free bread based on pre-hydrated rice grains. *Food Bioscience*, 69, 106857. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106857>
- Gorissen, S. H. M., Crombag, J. J. R., Senden, J. M. G., Waterval, W. A. H., Bierau, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. C. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50(12), 1685–1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>
- Gulzar, S., Hosseini, A. F., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., & Rizvi, S. S. H. (2025). Engineering processes for plant-based meat analogs: current status and future outlook. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(6). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70322>
- Gumul, D., Berski, W., & Zięba, T. (2023). The influence of fruit pomaces on nutritional, pro-health value and quality of extruded gluten-free snacks. *Applied Sciences*, 13(8), 4818. <https://doi.org/10.3390/app13084818>
- Gumul, D., Ziobro, R., Korus, J., & Kruczek, M. (2021). Apple pomace as a source of bioactive polyphenol compounds in gluten-free breads. *Antioxidants*, 10(5), 807. <https://doi.org/10.3390/antiox10050807>
- Habeeb, F., Majid, D., Makroo, H. A., Castagnini, J. M., Barba, F. J., & Dar, B. N. (2025). Duckweed as a sustainable protein source: extraction methods, functional properties, and applications in food systems. *Food Chemistry*, 493, 145854. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145854>
- Harasym, J., Paroń, O., & Pejcz, E. (2025). Pea protein isolates: from extraction to functionality. *Molecules*, 30(23), 4650. <https://doi.org/10.3390/molecules30234650>
- Harijani, A. M., Fatahi, S., Guimarães, N. S., & Shidfar, F. (2025). A comparison of amino acid-based, hydrolyzed, and soy-based formulas on growth of pediatric patients with cow's milk allergy: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Breastfeeding Medicine*, 20(5), 288–295. <https://doi.org/10.1089/bfm.2024.0252>
- Hoehnel, A., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2022). Targeted formulation of plant-based protein-foods: Supporting the food system's transformation in the context of human health, environmental sustainability and consumer trends. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 238–252. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.007>
- Horstmann, S., Lynch, K., & Arendt, E. (2017). Starch characteristics linked to gluten-free products. *Foods*, 6(4), 29. <https://doi.org/10.3390/foods6040029>

- Jia, H., Ren, F., & Liu, H. (2025). Development of low glycemic index food products with wheat resistant starch: a review. *Carbohydrate Polymers*, 361, 123637. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.123637>
- Karim, A., Osse, E. F., & Khalloufi, S. (2025). Innovative strategies for valorization of byproducts from soybean industry: A review on status, challenges, and sustainable approaches towards zero-waste processing systems. *Heliyon*, 11(3), e42118. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42118>
- Katsouli, M., Thanou, I. V., Raftopoulou, E., Ntzimani, A., Taoukis, P., & Giannakourou, M. C. (2024). Bioaccessibility and stability studies on encapsulated phenolics and carotenoids from olive and tomato pomace: development of a functional fruit beverage. *Applied Sciences*, 14(22), 10495. <https://doi.org/10.3390/app142210495>
- Kazemi, M., Aboutalebzadeh, S., Mojaverian, S. P., Samani, S. A., Kouhsari, F., PourvatanDoust, S., Salimi, A., Savarolyia, M., Najafi, A., Hosseini, S. S., & Khodaiyan, F. (2023). Valorization of pistachio industrial waste: Simultaneous recovery of pectin and phenolics, and their application in low-phenylalanine cookies for phenylketonuria. *International Journal of Biological Macromolecules*, 249, 126086. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126086>
- Kumar, H., Guleria, S., Kimta, N., Nepovimova, E., Dhalaria, R., Dhanjal, D. S., Sethi, N., Alomar, S. Y., & Kuca, K. (2024). Selected fruit pomaces: Nutritional profile, health benefits, and applications in functional foods and feeds. *Current Research in Food Science*, 9, 100791. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100791>
- Li, Q., Xia, Y., Zhou, L., & Xie, J. (2013). Evaluation of the rheological, textural, microstructural and sensory properties of soy cheese spreads. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.03.001>
- Li, Y., Li, L., Liu, G., Liang, L., Liu, X., Zhang, J., Wen, C., & Xu, X. (2024). Study on starch-based thickeners in chyme for dysphagia use. *Foods*, 14(1), 26. <https://doi.org/10.3390/foods14010026>
- Ligarda-Samanez, C. A., Huamán-Carrión, M. L., Calsina-Ponce, W. C., Cruz, G. D. la, Calderón Huamaní, D. F., Cabel-Moscoso, D. J., Garcia-Espinoza, A. J., Sucari-León, R., Aroquipa-Durán, Y., Muñoz-Saenz, J. C., Muñoz-Melgarejo, M., & Jilaja-Carita, E. E. (2025). Technological innovations and circular economy in the valorization of agri-food by-products: advances, challenges and perspectives. *Foods*, 14(11), 1950. <https://doi.org/10.3390/foods14111950>
- López-Moreno, M., & Kraselink, A. (2025). The impact of plant-based proteins on muscle mass and strength performance: a comprehensive review. *Current Nutrition Reports*, 14(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00628-1>
- Lund, M.-T. (2025). Impact of modified and native starch on the quality attributes of gluten-free bread. Yüksek Lisans Tezi. Lund: Lund University. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125386/records/6878f1b00868163a2f757139>
- Ma, K. K., Greis, M., Lu, J., Nolden, A. A., McClements, D. J., & Kinchla, A. J. (2022). Functional performance of plant proteins. *Foods*, 11(4), 594. <https://doi.org/10.3390/foods11040594>
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>
- McLauchlan, J., Tyler, A. I. I., Chakrabarti, B., Orfila, C., & Sarkar, A. (2024). Oat protein: Review of structure-function synergies with other plant proteins. *Food Hydrocolloids*, 154, 110139. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110139>
- Meena, K., & Adlakha, N. (2026). Technoeconomic and environmental assessment of enzyme-

- based low-phenylalanine protein for phenylketonuria. *Cleaner Engineering and Technology*, 3(1), 101185. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2026.101185>
- Meena, K., Alam, S., Dalei, S. K., Khare, S. K., & Adlakha, N. (2023). Continuous preparation of low-phenylalanine formulations by treatment of edible protein with immobilized phenylalanine ammonia lyase. *Process Biochemistry*, 131, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.06.004>
- Mistry, K., Sardar, S. D., Alim, H., Patel, N., Thakur, M., Jabbarova, D., & Ali, A. (2022). Plant based proteins: sustainable alternatives. *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.1652>
- Moss, R., LeBlanc, J., Gorman, M., Ritchie, C., Duizer, L., & McSweeney, M. B. (2023). A Prospective review of the sensory properties of plant-based dairy and meat alternatives with a focus on texture. *Foods*, 12(8), 1709. <https://doi.org/10.3390/foods12081709>
- Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
- Nishinari, K., Turcanu, M., Nakauma, M., & Fang, Y. (2019). Role of fluid cohesiveness in safe swallowing. *Npj Science of Food*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0038-8>
- Ooi, S. L., Micalos, P. S., & Pak, S. C. (2023). Modified rice bran arabinoxylan by lentinus edodes mycelial enzyme as an immunocutical for health and aging—a comprehensive literature review. *Molecules*, 28(17), 6313. <https://doi.org/10.3390/molecules28176313>
- Opazo-Navarrete, M., Burgos-Díaz, C., Bravo-Reyes, C., Gajardo-Poblete, I., Chacón-Fuentes, M., Reyes, J. E., & Mojica, L. (2025). Comprehensive review of plant protein digestibility: challenges, assessment methods, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 15(7), 3538. <https://doi.org/10.3390/app15073538>
- Pasqualoni, I., Tolve, R., Simonato, B., & Bianchi, F. (2024). The impact of selected ingredients on the predicted glycemic index and technological properties of bread. *Foods*, 13(16), 2488. <https://doi.org/10.3390/foods13162488>
- Punia Bangar, S., Ashogbon, A. O., Singh, A., Chaudhary, V., & Whiteside, W. S. (2022). Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. *Carbohydrate Polymers*, 287, 119265. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>
- Punia Bangar, S., Sunooj, K. V., Navaf, M., Phimolsiripol, Y., & Whiteside, W. S. (2024). Recent advancements in cross-linked starches for food applications- a review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 411–430. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2318427>
- Raczkowska, E., Bienkiewicz, M., & Gajda, R. (2024). Modulation of the glycaemic index value of shortbread cookies by the use of erythritol and fruit pomace. *Scientific Reports*, 14(1), 14215. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65108-y>
- Rashwan, A. K., Osman, A. I., Abdelshafy, A. M., Mo, J., & Chen, W. (2025). Plant-based proteins: advanced extraction technologies, interactions, physicochemical and functional properties, food and related applications, and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(4), 667–694. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2279696>
- Rațu, R. N., Veleşcu, I. D., Stoica, F., Usturoi, A., Arsenaia, V. N., Crivei, I. C., Postolache, A. N., Lipșa, F. D., Filipov, F., Florea, A. M., Chițea, M. A., & Brumă, I. S. (2023). Application of agri-food by-products in the food industry. *Agriculture*, 13(8), 1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081559>
- Rivera, J., Siliveru, K., & Li, Y. (2024). A comprehensive review on pulse protein fractionation and extraction: processes, functionality, and food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(13), 4179–4201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2139223>
- Russo, G. L., Puleo, S., Cavella, S., Scala, I., Fidaleo, M., & Di Monaco, R. (2025). Advancements in food science for Phenylketonuria (PKU) management: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(16), 3208–3222.

- <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2360075>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T., & Moreno-Rojas, J. M. (2021). Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: an overview. *Foods*, 10(4), 839. <https://doi.org/10.3390/foods10040839>
- Sarathy, S. P., Ravikumar, H., Nanjan, P., Alagesan, N., & Chua, B. L. (2025). Plant-based protein: A multi-nutritional sustainable alternative to animal foods and their structure, functions, and relationship: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 321, 146465. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146465>
- Sharma, K., Zhang, W., & Rawdkuen, S. (2025). Dietary plant-based protein supplements: sources, processing, nutritional value, and health benefits. *Foods*, 14. <https://doi.org/10.3390/foods14183259>
- Shawky, E., Gibbons, S., & Selim, D. A. (2025). Bio-sourcing from byproducts: A comprehensive review of bioactive molecules in Agri-Food Waste (AFW) streams for valorization and sustainable applications. *Bioresource Technology*, 431, 132640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132640>
- Singh, B. P., Ajayi, F. F., & Maqsood, S. (2025). A transition from animal- to plant-based proteins to foster sustainable food systems: advancements on diverse sources, health-promoting properties and applications as alternatives/analogues of animal-based proteins. *Food and Bioprocess Technology*, 18(12), 10086–10113. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04036-9>
- Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods*, 10(9), 1997. <https://doi.org/10.3390/foods10091997>
- Song, J., Yu, Y., Chen, M., Ren, Z., Chen, L., Fu, C., Ma, Z. feei, & Li, Z. (2022). Advancement of protein- and polysaccharide-based biopolymers for anthocyanin encapsulation. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.938829>
- Soni, J., Panesar, P. S., & Thakur, A. (2026). Valorization of litchi fruit by-products for sustainable utilization in agro-food processing industries: a circular waste bioeconomy paradigm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 106(2), 760–772. <https://doi.org/10.1002/jsfa.70062>
- Sood, G., Bhasin, J. K., Kashyap, P., Mehra, R., Khan, M. I., & Ashraf, S. A. (2026). Plant proteins for sustainable and healthy meat alternatives. *Journal of Food Science*, 91(1). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70868>
- Sridhar, K., Bouhallab, S., Croguennec, T., Renard, D., & Lechevalier, V. (2023). Recent trends in design of healthier plant-based alternatives: nutritional profile, gastrointestinal digestion, and consumer perception. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(30), 10483–10498. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2081666>
- Subiria-Cueto, R., Reyes-Blas, H., Olivas-Armendáriz, I., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., de la Rosa, L. A., Martínez-Ruiz, N. del R., & Alvarez-Parrilla, E. (2025). Grape pomace and pecan shell fortified bread: The effect of dietary fiber-phenolic compounds interaction on the *in vitro* accessibility of phenolic compounds and *in vitro* glycemic index. *Food Chemistry*, 462, 140925. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140925>
- Subroto, E., Cahyana, Y., Indianto, R., & Rahmah, T. A. (2023). Modification of starches and flours by acetylation and its dual modifications: a review of impact on physicochemical properties and their applications. *Polymers*, 15(14), 2990. <https://doi.org/10.3390/polym15142990>
- Swallah, M. S., Fan, H., Wang, S., Yu, H., & Piao, C. (2021). Prebiotic impacts of soybean residue (okara) on eubiosis/dysbiosis condition of the gut and the possible effects on liver and kidney functions. *Molecules*, 26(2), 326. <https://doi.org/10.3390/molecules26020326>
- Taha, A., Casanova, F., Šimonis, P., Stankevič, V., Gomaa, M. A. E., & Stirkè, A. (2022). Pulsed electric field: fundamentals and effects on the structural and techno-functional properties of

- dairy and plant proteins. *Foods*, 11(11), 1556. <https://doi.org/10.3390/foods11111556>
- Tang, Q., Roos, Y. H., & Miao, S. (2023). Plant protein versus dairy proteins: a pH-dependency investigation on their structure and functional properties. *Foods*, 12(2), 368. <https://doi.org/10.3390/foods12020368>
- Varayil, H., Meena, D., & Mitra, J. (2024). Plant-based foods: advanced structuring techniques. G. M. E. U., P. P. Srivastav, & B. Srivastava (Ed.). *Structured Foods* (s. 45–63). Boca Raton: CRC Press.
- Verma, D., Vashisht, P., Singh, L., Saini, G. S., Gill, A., Rathnakumar, K., Bihola, A., Kaur, J., Dwivedi, A., & Bandla, S. (2025). Feasibility of pulse protein in the formulation of dairy alternatives: a review of nutri-functional attributes, applications, processing, and sustainability impact. *Nutrire*, 50(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s41110-025-00315-9>
- Vieira, J. M., Andrade, C. C. P., Santos, T. P., Okuro, P. K., Garcia, S. T., Rodrigues, M. I., Vicente, A. A., & Cunha, R. L. (2021). Flaxseed gum-biopolymers interactions driving rheological behaviour of oropharyngeal dysphagia-oriented products. *Food Hydrocolloids*, 111, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106257>
- Volpe, F., Cervini, M., Dall'Asta, M., & Giuberti, G. (2025). Exploring the use of resistant starch from sorghum in gluten-free extruded snacks: chemical composition, physical properties, and starch fraction contents. *Journal of Cereal Science*, 126, 104287. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104287>
- Wolever, T. M. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., Campbell, J. E., & Jenkins, A. L. (2023). Cross-linked phosphorylated RS4 wheat starch reduces glucose and insulin responses after 3 days of pre-feeding in healthy adults: an acute, double-blind, randomized controlled clinical trial. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 74(5), 621–629. <https://doi.org/10.1080/09637486.2023.2236809>
- Xiao, X., Zou, P.-R., Hu, F., Zhu, W., & Wei, Z.-J. (2023). Updates on plant-based protein products as an alternative to animal protein: technology, properties, and their health benefits. *Molecules*, 28(10), 4016. <https://doi.org/10.3390/molecules28104016>
- Yan, Q., Wang, W., Fan, Z., Li, B., Wei, Y., Yu, R., Pan, T., Wang, N., Lu, W., & Fang, Z. (2024). Gut microbes mediate prebiotic-like effects of resistant starch. *Food Bioscience*, 61, 104627. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104627>
- Yılmaz Tuncel, N., Polat Kaya, H., Andaç, A. E., Korkmaz, F., & Tuncel, N. B. (2025). A Comprehensive review of antinutrients in plant-based foods and their key ingredients. *Nutrition Bulletin*, 50(2), 171–205. <https://doi.org/10.1111/mbu.12732>
- Zhao, X.-L., Qi, K.-L., Han, H., Wen, H.-D., Liu, Y.-M., Zhou, Q.-S., Ma, Y.-Y., Wang, C.-J., Zhang, J., Zhang, J., & Zhang, W.-J. (2026). Sequential extraction, structural characterization, and biological activities of polysaccharides from olive (*Olea europaea* L.) pomace. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 56(1), 45–61. <https://doi.org/10.1080/10826068.2025.2512946>

ÖZEL BESLENMEDE BAZI İLERİ İŞLEME TEKNOLOJİLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Meryem Akbaş*, Seher Kumcuoğlu**

GİRİŞ

Özel beslenme, bireylerin sağlık durumu, yaş, fizyolojik ihtiyaçları ve etik tercihleri doğrultusunda standart diyetten ayrılan, kişiye özgü beslenme yaklaşımlarını ifade etmektedir. Disfaji (yutma güçlüğü), diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, gıda alerjileri, hipertansiyon, böbrek hastalıkları, immün yetmezlik ve vejetaryen/vegan beslenme gibi farklı özel durumlar, bu gruplara özgü gıda ürünlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (van Ommen vd., 2017). Genel olarak tüketiciler tarafından ürünlerin, besleyici, doğal içerikli, güvenli ve duyuşsal açıdan kabul edilebilir olması beklenmektedir (Urugo vd., 2026).

Geleneksel gıda işleme yöntemleri, mikrobiyal açıdan güvenli ve raf ömrü uzun ürünler sağlasalar da gıdalarda bulunan ısıya duyarlı bileşiklerin kaybına, istenmeyen tekstürel değişikliklere ve bazı gıdalarda alerjenitenin artmasına yol açabilmektedir (Jia vd., 2025; White vd., 2025). Bu sınırlamalar nedeniyle son yıllarda gıda endüstrisinde ve literatürde araştırmalar termal olmayan veya az işlenmiş ürünlere kaymaktadır (Ağagündüz vd., 2025).

Bu bölümde, özel beslenme ihtiyaçlarına yönelik gıda ürünlerinin geliştirilmesinde öne plana çıkan beş ileri işleme teknolojisi ele alınmaktadır: (i) Soğuk Plazma, (ii) Ohmik Isıtma, (iii) Işınlama, (iv) Yüksek Basınç İşleme (HPP) ve (v) Ultrason. Bu teknolojiler farklı çalışma prensiplerine sahip olmakla beraber, ürünün duyuşsal ve besinsel kalitesini koruma, alerjeniteyi azaltma, mikrobiyal güvenliğini sağlama, doku mühendisliği oluşturma, biyoaktif bileşenlerin biyoyararlanımını artırma ve temiz etiketli ürün sağlama gibi ortak hedeflere hizmet etmektedir.

* Öğr. Gör. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Pazarlar Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Kütahya, meryem.akbas@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8626-4012

** Prof. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, seher.kumcuoglu@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3663-2881

Bölümün amacı, söz konusu beş ileri işleme teknolojisinin çalışma prensiplerini, özel beslenmedeki uygulama alanlarını, avantajlarını ve sınırlılıklarını bilimsel kanıtlar eşliğinde analiz etmektir.

Soğuk plazma uygulamaları

Soğuk plazma, vakum veya atmosferik basınç altında hava, argon, azot veya helyum gibi gazların iyonizasyonu ile üretilen termal olmayan yenilikçi bir teknolojidir. İşlem sırasında oluşan aktif türler, gıdalarda yapısal değişikliklere neden olmaktadır. Plazma, maddenin dördüncü hali olup serbest elektronlar, iyonlar, radikaller, nötr atomlar ve fotonlardan oluşan, elektriksel olarak nötr, yarı kararlı bir ortam olarak tanımlanır. Soğuk plazmada elektronlar yüksek sıcaklıkta (≈ 20.000 K) iken, ağır partiküller (iyonlar ve nötr gaz molekülleri) oda sıcaklığında kalır. Bu termodinamik dengesizlik, işlemin gıda üzerinde termal hasar oluşturmamasını engellemektedir (Gupta vd., 2025; Sasikumar vd., 2025).

Soğuk plazma, son yıllarda hipoalerjenik gıda ürünleri geliştirilmesinde umut vadeden bir teknoloji konumundadır ve özellikle yumurta, süt, yer fıstığı ve soya alerjisi olan bireyler için daha güvenli ürünler üretme potansiyeli taşımaktadır. Alerjenitenin azaltılmasına ek olarak proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin (emülsiyon, köpürme, jel oluşumu) iyileştirilmesi, bu teknolojiyi fonksiyonel, temiz etiketli hipoalerjenik ürünler geliştirmede değerli kılmaktadır (Koorehpaz vd., 2025; Zahid vd., 2025). Soğuk plazma işlemi sırasında oluşan reaktif oksijen ve nitrojen türleri (ROS/RNS), alerjenik proteinlerin yapısında oksidasyona, amino asit modifikasyonuna, disülfid bağlarının yeniden düzenlenmesine ve protein agregasyonuna neden olur. Bu değişiklikler, immünoglobulin E (IgE) bağlanma bölgelerini bozarak veya maskeleyerek proteinin alerjenitesini azaltır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta plazma parametrelerinin (voltaj, süre, gaz bileşimi, nem) doğru şekilde optimize edilmesidir. Uygun olmayan koşullarda, özellikle uzun süreli maruziyet sonucunda protein yapıları, alerjeniteyi beklenmedik şekilde artırabilecek değişikliklere uğrayabilir (Koorehpaz vd., 2025). Wang vd. (2025), ultrason destekli 25 dakikalık soğuk plazma uygulaması sonrasında immünoglobulin G (IgG) bağlama kapasitesinde %74 azalma sağlandığını bildirmiştir. Çalışma kapsamında, hipoalerjenik yer fıstığı üretimi için soğuk plazmanın umut verici bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Proteinlerin yapısal düzenlemeleri, özel beslenmedeki işlevsel ve biyolojik özellikleri için oldukça önemlidir. Soğuk plazma uygulaması ile üretilen yüksek enerjili iyonlar, elektronlar ve moleküller protein molekülleri arasında çapraz bağlanmayı teşvik ederek, kimyasal bağları bozar ve yan zincir etkileşimlerini değiştirerek proteinlerde yapısal değişiklikleri tetikler. Böylece uygulama vegan/vejetaryen et ikamelerinde kullanılan bitkisel proteinlerin zayıf olan fonksiyonel özelliklerini iyileştirme potansiyeli oluşturur (Rout vd., 2025).

Soğuk plazma teknolojisi, termal olmayan yapısı ve hücre duvarında meydana getirdiği yapısal değişiklikler sayesinde fenolik bileşiklerin açığa çıkmasını sağlayarak özel beslenme ürünlerinin fonksiyonel kalitesini artırma potansiyeli sunmaktadır (Zargarchi vd., 2024). Özel beslenme şekilleri arasında özellikle kardiyoprotektif, diyabetik ve antioksidan destekli diyetlerde, fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşenlerin alımı büyük önem taşımaktadır. Fenolik bileşikler, oksidatif stres ve enflamasyonu hafifletmede ve kronik hastalık riskini azaltmada önleyici/tamamlayıcı terapötik stratejilerde ön plana çıkmaktadır (Bas, 2026). Ancak bu bileşiklerin bitkisel hücre duvarları içinde hapsolması, geleneksel kimyasal ekstraksiyon yöntemleriyle sınırlı verim elde edilmesine neden olur. Bu noktada soğuk plazma teknolojisi, bitkisel hücre duvarlarında yüzey aşındırması, çapraz bağlanma ve depolimerizasyon gibi yapısal değişikliklere neden olarak hücre bütünlüğünün bozulmasına ve hücre içi polifenollerinin açığa çıkmasına yardımcı olmaktadır (Loukri vd., 2024). Güncel bir derleme çalışmasında, soğuk plazma destekli ekstraksiyon sonrası fenolik bileşikler ve antosiyaninlerde 2 ila 5 kata kadar daha yüksek verim sağlandığı; aynı zamanda solvent kullanımının da %50'ye varan seviyelerde azaltıldığı vurgulanmaktadır (Mustafa vd., 2026).

Soğuk plazma teknolojisi, düşük glisemik indeksli ürünlerin geliştirilmesinde nişastanın sindirim hızını düzenleyerek diyabetik bireylerde tokluk süresini uzatmakta ve kan şekeri yanıtlarını dengelemektedir. Bu etki, plazma işleminin nişasta granüllerinin yüzeyinde oluşturduğu fizikokimyasal değişiklikler ve moleküler zincirler arasındaki çapraz bağlanmalar sayesinde, amilolitik enzimlerin nişastaya erişimini sınırlamasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu yapısal dönüşüm, glisemik indeksin düşürülmesinde kilit rol oynayan dirençli nişasta (RS) miktarını artırarak, fonksiyonel gıda matrislerinin düşük

glisemik indeksli formülasyonlara dönüştürülmesine olanak tanımaktadır (Almeida vd., 2025).

Soğuk plazma işlemi, ambalaj içinde uygulanabilme özelliği sayesinde işlem sonrası oluşabilecek mikrobiyal kontaminasyon riskini minimize ederek bu talebin karşılanmasına katkı sağlamaktadır (Misra & Jo, 2017). Bu yönüyle teknoloji, sağlık ve güvenlik gereksinimlerini bir arada karşılayan etkili bir işleme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır. Sasikumar vd. (2025), ambalaj içi soğuk plazma uygulaması sonrasında işlenmiş tavuk ve taze kesilmiş kavunların ürün bütünlüğünün korunduğunu ve raf ömrünün 14 güne kadar uzatıldığını bildirmiştir. Aynı çalışmada, 1 dakika gibi kısa işlem sürelerinde elma suyu, marul ve süt ürünlerinde *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella* türlerinde 5 log'dan fazla azalma sağlandığı belirtilmiştir.

Soğuk plazma teknolojisinin bir diğer avantajı da düşük sodyumlu diyet uygulayan bireyler için formüle edilen gıdalarda koruyucu amaçla kullanılan tuz, nitrit ve nitrat miktarının güvenli şekilde azaltılmasına olanak tanımasıdır. Deng vd. (2025), yarı kurutulmuş altın pomfret balığının kütleme ve işleme aşamalarında tuzlu salamuraya alternatif olarak kullanılan plazma aktive suyun, tuz miktarının yarıya düşürülmesine olanak tanıdığını bildirmişlerdir. Ayrıca bu uygulama ile balığın karakteristik aroma bileşikleri ve çoklu doymamış yağ asidi içeriğinde artışlar sağlandığını belirtilmişlerdir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, et ürünlerinde nitrit/nitrat kullanımının azaltılması veya tamamen ikame edilmesinde soğuk plazma teknolojisinin öne çıkan yöntemlerden biri olduğu vurgulanmaktadır. Bu yöntem, antimikrobiyal etkinlik yanında karsinogenik N-nitrozamin oluşum riskini azaltma potansiyeli de içerdiğinden et endüstrisi için umut verici bir alternatif olarak görülmektedir (Andrade vd., 2025).

Ohmik ısıtma

Ohmik ısıtma, bir elektrik devresinde gıdanın direnç görevi göreceği şekilde kullanılarak ısıtılmasını sağlayan termal bir yenilikçi işleme teknolojisidir. Direnç ısıtması ya da Joule ısıtması olarak da bilinmektedir. Uygulanmasında, gıda maddesi iki elektrot arasına yerleştirilir ve üzerinden elektrik akımı geçirilir. Gıdanın elektriksel direnci sebebiyle akım enerjisi doğrudan ısı enerjisine dönüşmektedir. Ohmik ısıtmanın geleneksel ısıtma yöntemlerinden en büyük farkı, ısıtmanın ürün yüzeyinden

merkeze doğru iletilmesi yerine, eş zamanlı olarak ürünün tüm hacminde oluşmasıdır. Bu hacimsel ısıtma özelliği sayesinde ohmik ısıtma, ürünlerin dış yüzeylerinde yanma riskini büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Joeres vd., 2023).

Ohmik ısıtma, gıdalarda hızlı ve homojen ısıtma sağlayarak mikrobiyolojik açıdan güvenli ve yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesine imkân tanıyan bir gıda işleme teknolojisidir. Bu teknolojinin etkinliği ısı üretim hızı, elektrik alan şiddeti, gıdanın elektriksel iletkenliği, işlem süresi ve ürünün akış özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle protein bakımından zengin ve partiküllü gıdaların işlenmesinde uygun bir yöntem olarak değerlendirilen ohmik ısıtma, uzun ömürlü steril gıdalar gibi özel beslenme ürünlerinin geliştirilmesinde de önemli bir potansiyele sahiptir (Varghese vd., 2014).

Ohmik ısıtma teknolojisi, geleneksel termal yöntemlere kıyasla sürdürülebilir ve ürün kalitesini daha iyi koruyan bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Gavahian vd., 2025). Sun vd. (2008), aynı sıcaklık koşullarında ısıtılan süt ürünlerinde ohmik ısıtmanın, geleneksel yöntemle kıyasla toplam aerobik bakteriler üzerinde daha yüksek mikrobiyal inaktivasyon sağladığını bildirmiştir. Çalışmada, ohmik ısıtmanın mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerinde ısı etkisinin yanı sıra, elektrik akımına bağlı ek bir antimikrobiyal etki oluşturduğu belirtilmiştir. Yine farklı bir çalışmada, özellikle bebek mamaları ve konserve üretiminde ohmik ısıtmanın, gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasına katkı sağladığı; aynı zamanda ısıl kontaminant oluşumunu azalttığı vurgulanmıştır (European Commission, 2021).

Ohmik ısıtmanın bir diğer etkisi, gıdalarda bulunan alerjen özellikteki bileşenlerin aktivitesini azaltmasıdır. Ohmik ısıtma, proteinlerin yapısını geleneksel termal yöntemlere kıyasla çok daha hassas şekilde modüle edebilir. Bu teknolojinin uygulanması ile ortaya çıkan düşük frekanslı orta derece elektrik alanları, proteinin sekonder yapısını değiştirerek, protein denatürasyonunu tetikler. Böylece immün sistemin alerjik reaksiyonu başlattığı spesifik epitoplar (IgE bağlama bölgeleri) geri dönüşümsüz şekilde maskelenir ya da yapısal olarak yıkıma uğratılır (Pereira vd., 2018). X. Li vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ohmik ısıtmanın yılan balığında ana alerjen olan parvalbumin proteinini modifiye ederek alerjeniteyi %65 oranında düşürdüğü bildirilmektedir. Yine farklı bir çalışmada 72 °C'de 15 saniye süte uygulanan ohmik ısıtmanın

immünoreaktivitede %25 ile %35 arasında bir azalma sağladığı gösterilmiştir. Ancak bu çalışmada belirtilen en önemli vurgu, yüksek sıcaklıklarda geleneksel ısıtma sırasında meydana gelen gizli alerjenik epitopların alerjeniteyi artırması durumunun, ohmik ısıtmada engellenmesidir (Pereira vd., 2020).

Ohmik ısıtma, nişasta sindirilebilirliğini değiştirebilen bir teknoloji olarak değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda, ohmik ısıtma ile üretilen paraprobiyotik içeceklerin sağlıklı bireylerde postprandiyal gliseminin düşürülmesinde probiyotik ürünlere bir alternatif olabileceği bildirilmektedir (Barros vd., 2021).

Işınlama teknolojisi

Gıda ışınlama teknolojisi, gıdaların X-ışınları, gama ışınları veya hızlandırılmış elektronlar gibi iyonlaştırıcı radyasyona kontrollü şekilde maruz bırakıldığı ısı olmayan bir muhafaza yöntemidir. Bu teknoloji, gıda kaynaklı patojenleri, parazitleri ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaları azaltarak gıdaların raf ömrünü uzatmak ve ürün güvenliğini artırmak amacıyla dünya genelinde 55'ten fazla ülkede kullanılmaktadır. Uluslararası ve ulusal araştırmalar, uygun koşullarda uygulanan ışınlamanın güvenli ve besin değeri korunmuş gıda üretiminde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir (Shah vd., 2014).

Bu genel çerçeve içinde gıda ışınlama teknolojisi, uygulanan radyasyon dozuna bağlı olarak radappertizasyon, radisidasyon ve radurizasyon olmak üzere üç temel kategoride değerlendirilmektedir. Radappertizasyon, 10 kilogray (kGy) üzerindeki yüksek doz uygulamalarını kapsamakta ve virüsler dışında tüm mikroorganizmalar ile sporların inaktivasyonunu hedeflemektedir. Bu yöntem özellikle oda sıcaklığında uzun süre depolanabilen ürünler, hastane diyetleri ve uzay gıdalarının üretiminde kullanılmaktadır. Radisidasyon, genellikle 1–10 kGy aralığında uygulanmakta olup et, kanatlı ürünleri, deniz ürünleri ile taze meyve ve sebzelerde mikrobiyal yükün azaltılması ve raf ömrünün uzatılması amacıyla tercih edilmektedir. Radurizasyon ise 0,4–2,5 kGy arasındaki düşük doz uygulamalarını ifade etmekte; tahıllar, baharatlar, kuru meyveler, patates ve soğan gibi ürünlerde böcek ve parazit kontrolü ile çimlenmenin önlenmesinde kullanılmaktadır (Ehlerrmann, 2009; Rostami vd., 2024).

Doz temelli bu sınıflandırma, teknolojinin farklı gıda gruplarında geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu uygulama çeşitliliği, özellikle özel beslenme gereksinimlerine sahip bireyler için önemli avantajlar sağlamaktadır. Nitekim bu teknolojiler; steril gıda üretimi, raf ömrünün uzatılması, gıda kayıplarının azaltılması ve düşük alerjen içeriğine sahip ürünlerin geliştirilmesi gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Ferreira vd., 2017; International Atomic Energy Agency, 2024).

Özellikle son yıllarda artan bitkisel protein tüketimi ve gıda alerjilerindeki yükseliş, ışınlama teknolojilerinin protein yapıları üzerindeki etkisini daha da önemli hale getirmiştir. Bu bağlamda gama ışınlamasının proteinlerin immünoreaktivitesini azaltmada etkili olabileceği bildirilmektedir (Zhang vd., 2025). Nitekim tatlı su karideslerine uygulanan 10–15 kGy kobalt-60 ışınlamasının tropomiyozin alerjenini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Muanghorn vd., 2018). Benzer şekilde Zhu vd. (2018), domuz serum albümini üzerinde 1–8 kGy gama ışınlamasının protein yapısını değiştirerek IgE bağlanma kapasitesini %91,4 oranında düşürdüğünü rapor etmiştir.

Alerjenite üzerindeki bu etkiler, ışınlamanın yalnızca mikrobiyal güvenlik değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda geliştirme açısından da önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, yüksek doz ışınlama (>10 kGy) özellikle vakumlu veya modifiye atmosfer ambalajlama, dondurma ve ön ısıt işlemlerle birlikte kullanıldığında gıdaların raf ömrünü ve mikrobiyolojik stabilitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle teknoloji, bağışıklık sistemi baskılanmış bireyler için steril gıda üretiminde de kritik bir rol üstlenmektedir (Feliciano, 2018). Örneğin vakum ambalajlanan ve –40 °C’de 12–40 kGy dozlarında ışınlanmış hazır yemeklerin 4 °C’de 11 ay boyunca sterilitesini koruduğu bildirilmektedir (Desmonts vd., 1998). Ayrıca Kore Bulgogi sosu üzerine yapılan bir çalışmada, yüksek doz gama ışınlamasının patojenleri etkili biçimde elimine ederken; duyuusal ve fizikokimyasal kaliteyi termal yöntemlere göre daha iyi koruduğu gösterilmiştir (Park vd., 2012).

Mikrobiyal güvenlik ve kalite koruma avantajlarının yanı sıra, ışınlama teknolojisi özel beslenme alanında formülasyon stratejilerini de etkilemektedir. Özellikle düşük sodyum içerikli ürünlerin geliştirilmesi bu alanlardan biridir. Aşırı sodyum tüketiminin bulaşıcı olmayan hastalıklarla ilişkilendirilmesi, düşük sodyum içerikli ürünlere olan ilgiyi artırmıştır. Bu

kapsamda NaCl'nin kısmen KCl ile değiştirildiği çiğ kuzu sosislerinde 3 kGy gama ışınlamasının patojenleri etkili biçimde elimine ettiği ve ürün özelliklerini koruduğu belirtilmektedir (de Souza vd., 2019). Benzer şekilde Rodrigues vd. (2021), 1,5–4,5 kGy aralığındaki uygulamaların mikrobiyolojik güvenliği artırdığını ve özellikle 1,5 kGy dozunun ürün kalitesini koruyarak güvenli raf ömrü sağladığını bildirmektedir.

Tüm bu bulgular ışığında gama ışınlamasının gıda endüstrisinde yaygın ve çok yönlü bir teknoloji olduğu görülmektedir (F. Xu vd., 2025). Bununla birlikte literatürde, yüksek doz uygulamalarda lipid oksidasyonu gibi istenmeyen fizikokimyasal değişimlerin de ortaya çıkabileceği gösterilmektedir. Bu nedenle uygulanacak ışınlama dozunun ürün bazında optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır (Silva vd., 2011). Ayrıca teknolojinin yaygınlaşmasını sınırlayan en önemli faktörlerden biri tüketici algısıdır. Bu bağlamda tüketici farkındalığının artırılması ve bilimsel bilginin daha etkin şekilde aktarılması, teknolojinin toplum tarafından kabulünü artırmada kritik rol oynayacaktır (Junaedi vd., 2024).

Yüksek Basınç İşleme

Yüksek basınç işleme (HPP), gıda maddelerinin 100–700 megapascal (MPa) arasında değişen izostatik basınca belirli sürelerle maruz bırakıldığı termal olmayan bir pastörizasyon teknolojisidir. Basınç, cihaz içerisindeki sıvı ortama (genellikle su) mekanik olarak uygulanmakta ve gıda boyunca eşit şekilde iletilmektedir (Daher vd., 2017). Bu özelliği sayesinde HPP, ürünün boyut ve geometrisinden bağımsız olarak etkili işlem uygulanmasına olanak tanımaktadır (Abera, 2019). Böylece mikroorganizmalar ve enzimler inaktive edilirken, besin öğeleri ve duysal özellikler büyük ölçüde korunmakta ve ürün raf ömrü uzamaktadır. HPP ile ticarileştirilen ilk ürünler 1990 yılında Japonya'da meyve suyu, jöle ve reçeller olmuş; daha sonra teknoloji et, balık, pirinç tatlıları ve jambon gibi farklı ürün gruplarına yayılmıştır. Günümüzde ise özellikle meyve bazlı ürünlerde enerji maliyetlerini azaltması nedeniyle gelişmekte olan önemli bir işleme teknolojisi olarak değerlendirilmektedir (Daher vd., 2017).

Bu temel teknolojik özellikler, HPP'nin koruma yöntemi olmasının yanı sıra gıda yapısını değiştirebilen fonksiyonel bir işlem olduğunu da göstermektedir (Zhang vd., 2023). Nitekim ısı yerine basınç kullanılması, protein sistemlerinde kovalent bağları etkilemeden biyopolimerler arasında agregasyon, kümelenme ve jel ağı oluşumu gibi yapısal

değişikliklere neden olmaktadır (Yildiz & Yıldiz, 2025). Bu durum özellikle disfajili bireyler için önemlidir. Çünkü disfaji hastaları için geliştirilen ürünlerin güvenli yutmayı sağlayacak uygun tekstüre sahip olması gerekmektedir. Geleneksel olarak bu yapı gamlar veya modifiye nişasta gibi hidrokolloid katkılarla sağlanırken, HPP, katkı maddesi kullanmadan protein bazlı sistemlerde kendiliğinden jel oluşumunu tetikleyebilmektedir (Giura vd., 2023b).

Disfaji uygulamalarındaki bu potansiyel, HPP'nin gıda dokusu üzerindeki etkisinin somut bir örneğini oluşturmaktadır. Örneğin disfajili bireyler için geliştirilen mercimek proteinli sebze pürelerinde 600 MPa HPP uygulamasının ksantan zatkısına benzer jel benzeri yapı oluşturduğu, daha yüksek başlangıç sertliği sağladığı ve 14 gün boyunca mikrobiyolojik güvenliği koruduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, HPP'nin hidrokolloidlere alternatif, katkısız bir doku düzenleme teknolojisi olabileceğini göstermektedir (Giura vd., 2023a).

Gıda dokusu ve protein sistemlerindeki bu değişim yalnızca kıvamla sınırlı kalmayıp, sindirilebilirlik ve metabolik yanıt üzerinde de etkili olmaktadır. Bu kapsamda HPP'nin özellikle nişasta yapıları üzerindeki etkisi dikkat çekmektedir. Nişasta, hızlı sindirilebilir (RDS), yavaş sindirilebilir (SDS) ve dirençli nişasta olmak üzere üç fraksiyona ayrılmaktadır (Balakrishna vd., 2020). Yaklaşık 400 MPa üzerindeki basınç uygulamaları nişastada jelatinleşmeye ve sindirilebilirlik artışına neden olabilirken, uzun süreli yüksek basınç uygulamaları daha dirençli yapılar oluşturabilmektedir (Hayashi & Hayashida, 1989). Örneğin yapılan bir çalışmada mumsu pirinç nişastasında RDS miktarı 600 MPa'da, SDS miktarı ise 400 MPa'da en yüksek seviyeye ulaşmıştır (Zeng vd., 2018). Buna karşılık sorgum nişastasında basınç artışıyla RDS azalırken, SDS ve RS miktarlarında artışlar kaydedilmiştir (Liu vd., 2016).

Nişasta üzerindeki bu yapısal değişimler, HPP'nin glisemik yanıtı düzenleme potansiyeline de işaret etmektedir. Patates nişastasına 400 MPa'da altı döngü basınç uygulanması ve ardından yedi gün retrogradasyona bırakılmasıyla düşük *in vitro* hidroliz hızına sahip nişasta elde edilmiştir (Colussi vd., 2020). Bu yaklaşım, HPP'nin düşük glisemik indeksli ve uzun süre tokluk sağlayan ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Sindirilebilirlik ve metabolik etkilere ek olarak HPP, bitkisel bazlı ürün geliştirme alanında da önemli bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda, protein

ve nişasta sistemlerindeki modifikasyonlar bitkisel et alternatiflerinin teknolojik özelliklerine doğrudan yansımaktadır. HPP, soya proteini bazlı ürünlerde raf ömrünü uzatırken tekstür ve teknolojik özellikleri iyileştirmekte; doğal aroma, pigment ve ısıya duyarlı vitaminlerin korunmasına katkı sağlamaktadır. Böylece özellikle vegan ve vejetaryen ürünlerde geleneksel ısıl işlemlerin neden olduğu duyuusal ve besinsel kayıplar azaltılabilmektedir (Janardhanan vd., 2023; Penalver vd., 2025).

Bu alandaki endüstriyel uygulamalar da HPP'nin potansiyelini desteklemektedir. Örneğin İspanyol Leggie markası, yalnızca altı bileşenden oluşan temiz etiketli bitkisel et ürünlerinde HPP kullanarak raf ömrünü 60 güne çıkarmıştır. Bu çalışma, HPP'nin katkı maddesi kullanımını azaltırken soğuk zincirde uzun süreli depolama imkânı sunabildiğini göstermektedir (Vegconomist, 2023). Ayrıca HPP'nin, bitkisel proteinlerde görülen “fasulye tadı (beany flavor)” gibi istenmeyen tatların azaltılmasında da etkili olabileceği bildirilmektedir (Meinlschmidt vd., 2017).

Bitkisel ürünlerdeki bu fonksiyonel kullanımın ötesinde HPP, sağlık temelli fonksiyonel gıda geliştirme alanında da değerlendirilmektedir. HPP, fonksiyonel protein hidrolizatları üretiminde geleneksel ısı ve enzimatik yöntemlere alternatif olarak kullanılabilmekte ve biyoaktif bileşik üretimi açısından potansiyel taşımaktadır. Cheng vd. (2026), HPP ile elde edilen pirinç proteini peptitlerinin diyabetik kardiyomiyopati modelinde kan şekeri düzeylerini düşürdüğünü ve oksidatif miyokard hasarını azalttığını bildirmiştir. Bu bulgular, HPP'nin diyabetik bireylere yönelik fonksiyonel gıda geliştirilmesinde biyoaktif peptit üretim teknolojisi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Fonksiyonel uygulamaların bir diğer önemli alanı ise düşük sodyumlu diyetlerdir. Bu bağlamda HPP, gıdaların lezzet bütünlüğünü koruyarak tuz azaltımına olanak tanımaktadır. Yapılan çalışmalar, farklı NaCl düzeylerine sahip et ürünlerinde HPP uygulamasının duyuusal özellikleri korurken tuz miktarının azaltılabileceğini göstermektedir (Nuygen vd., 2024). Buna paralel olarak HPP, ısıya duyarlı besinsel bileşenlerin korunmasına katkı sağlayarak raf ömrünü de artırabilmektedir.

Bununla birlikte bazı özel ürünlerde HPP'nin etkileri dikkatle değerlendirilmelidir. Örneğin anne sütü üzerine yapılan bir çalışmada HPP'nin protein ve vitamin kaybını azaltmasına karşın lipit oksidasyonunu

artırabileceği bildirilmiştir (Medina-Meza vd., 2024). Bu nedenle HPP'nin uygulanması, ürün tipi ve hedef tüketici grubuna göre optimize edilmelidir.

Ultrason Teknolojisi

Ultrason, 20 kilohertz (kHz) ve üzerindeki frekanslarda salınım gösteren, ortam moleküllerinin mekanik titreşimleri ile sıkışma-gevşeme döngüleri yaratarak ilerleyen, mekanik enerji dalgalarıdır. Ultrason uygulamaları, gıdaların besleyicilik ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmede umut vadeden, yenilikçi ve yeşil bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Ultrasonun çevreci bir uygulama olması ve kolay uygulanabilirliği onu gıdaların biyoaktivitesi ve fonksiyonelliğini geliştirmede öne çıkan bir teknoloji hâline getirmektedir (Hussain vd., 2023).

Günümüzde ultrason teknolojisi, geleneksel ve kimyasal yöntemlere alternatif olarak çeşitli gıda endüstrilerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Manzoor vd., 2021; Ali vd., 2023; Manzoor vd., 2023). Ultrason uygulaması esnasında oluşan ses dalgaları gıda matriksi boyunca yayılmakta ve basınç dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bunun sonucunda yüksek enerjili kabarcıklar meydana gelmekte ve patlamaktadır. Bu olaya kavitasyon denmektedir. Kavitasyon sonrasında bölgesel kesme kuvvetleri, basınç ve sıcaklık değişimleri meydana gelmekte ve bu durum da gıdaların kimyasal ve fiziksel yapısında değişikliklere yol açmaktadır (Hussain vd., 2023).

Ultrason uygulamasının çok yönlü yapısı, homojenizasyon, nanopartikül üretimi, ekstraksiyon, biyoaktif bileşenlerin ayrıştırılması, emülsifikasyon, mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu gibi geniş bir uygulama alanının gelişmesine olanak sağlamaktadır (Misra vd., 2017).

Ultrason işlemi, bitkisel proteinlerin sıkı üç boyutlu yapısının açılmasına katkı sunmaktadır. Bu durum, proteinlerin emülsifiye olma, su tutma ve yağ bağlama kapasitesi gibi teknolojik özelliklerini geliştirmekte (Saran vd., 2024); aynı zamanda baklagil ve tahıl proteinlerinin sindirilebilirliğini ve biyoyararlanımlarını da önemli ölçüde artırmaktadır. Hussain vd. (2021) yapmış oldukları çalışmalarında, ultrason uygulanan patates proteininin biyoaktivitesinde %30, sindirilebilirliğinde ise %12 iyileşme sağlandığını bildirmektedir.

Ultrason uygulamaları aynı zamanda bitkisel hücre duvarlarının parçalanmasına ve böylece diyet lifi ve polifenol gibi biyoaktif bileşiklerin

verimi ve fonksiyonelliğinin artmasına yardımcı olmaktadır (Sousa vd., 2025; Nutter vd., 2026). Nutter vd. (2026), portakal kabuğu diyet liflerinin yoğun yapısal matrisini ultrason uygulaması ile gevşeterek gözenekliliğini artırdıklarını ve çözünmez liflerin bir kısmını çözünür forma dönüştürerek hidrasyon özelliklerinde %60'a varan bir artış sağladıklarını bildirmektedir.

Ultrasonun protein ve nişasta bazlı gıda matrisleri üzerindeki modifikasyon etkisi, gıdanın jel yapısı ve viskozitesinde değişimlere neden olmakta ve böylece hedefli bir doku mühendisliği uygulanmasına destek olmaktadır (Ji vd., 2024; Brito & Silva, 2025). Yutma güçlüğü çeken kişilerin protein ihtiyaçları çoğunlukla jel formunda sağlanmaktadır. Bu durum da protein jel dokularının uygun şekilde tasarlanması gerekliliğini doğurmaktadır. Ultrason işlemi disfaji hastaları için ürün üretimine katkı sağlamakta ve son yıllarda bu alan üzerine çalışmalar artış göstermektedir. Ultrason uygulaması ile protein yapısında değişiklik meydana geldiği, transglutaminaz ile reaksiyona girebilecek daha fazla etki alanının oluşturulduğu; böylece modifiye edilen proteinlerin jel sertliklerinde iyileşme sağlandığı belirtilmektedir (H. Xu vd., 2025). Ek olarak, protein jellerine gellan sakızı (Y. Li vd., 2024), κ -karragenan (Lin vd., 2024) ve dirençli mısır nişastası (Wang vd., 2019) gibi gıda polisakkaritlerin ilavesinin, jelleşme kalitesini artırmada etkili bir strateji olduğu bildirilmektedir (F. Xu vd., 2025).

Ultrason uygulanması esnasında meydana gelen kavitasyon, alerjenik proteinlerin üç boyutlu konformasyonunu bozarak bağışıklık sisteminin reaksiyon verdiği epitoplara maskeleyebilmekte veya yok edebilmektedir (Pang vd., 2025). İşlem sırasında oluşan yüksek kesme kuvveti, hidrojen bağları ve van der Waals çekim kuvvetleri arasındaki çekimin azalmasına ve protein denatürasyonuna sebep olarak gıdaların düşük alerjenite göstermesine katkı sunmaktadır (Hussain vd., 2023).

Ultrason teknolojisi, gıda formülasyonlarının ve tekstürel özelliklerinin modifikasyonunda etkili bir araç olarak ön plana çıkmakta olup, sunduğu avantajlar nedeniyle fonksiyonel ve kişiselleştirilmiş gıda geliştirme çalışmalarında giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Teknoloji temiz etiketli, sürdürülebilir gıdaların geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Jadhav vd., 2024; Rivera-Tobar vd., 2025). Bununla birlikte, ultrasonikasyonun başarısı, proses parametrelerinin gıda matrisine özgü şekilde optimize edilmesine bağlıdır (Villamiel vd., 2017).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu kitap bölümünde, özel beslenme gereksinimlerine yönelik gıda ürünlerinin geliştirilmesinde kullanılan beş ileri işleme teknolojisi olan soğuk plazma, ohmik ısıtma, ışınlama, yüksek basınç işleme ve ultrason teknolojileri bilimsel kanıtlar eşliğinde ele alınmıştır. Genel olarak her bir teknolojinin, farklı özel beslenme stillerine sağladığı katma değerler ve beraberinde getirdiği sınırlamalar olduğu söylenebilir. Tüm bu teknolojilerin ortak özelliği, termal olmayan veya minimal termal işleme prensibiyle çalışmaları nedeniyle ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasına katkı sağlamaları, koruyucu madde kullanımını azaltmaları, temiz etiketli ürün geliştirilmesine olanak tanımaları, gıda atıklarının değerlendirilmesi ve enerji verimliliği açısından sürdürülebilir alternatifler sunmalarıdır. Bununla birlikte, söz konusu teknolojilerin neredeyse tamamı, gıda matrisi bazlı parametre optimizasyon zorunluluğu, bazı uygulamalarda homojen işlem güçlüğü, yüksek yatırım maliyeti ve tüketici kabulü gibi ortak sınırlamalar ile karşı karşıyadır. Genel olarak şunu belirtebiliriz ki, ileri işleme teknolojileri gıda uygulamaları için henüz tek başına en iyi çözüm değildir. Gelecekte, bu teknolojilerin kombine uygulamaları ve yeni nesil ekipman tasarımları ile özel beslenme pazarının ihtiyaçlarına karşı daha hassas ve sürdürülebilir çözümler sunacaklardır.

KAYNAKÇA

- Abera, G. (2019). Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1568725. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1568725>
- Ağagündüz, D., Ayakdaş, G., Katircioğlu, B., & Ozogul, F. (2025). Advances in non-thermal food processing: a comprehensive approach to nutrient retention, food quality, and safety. *Sustainable Food Technology*, 3(5), 1284-1308.
- Ali, M., Manzoor, M. F., Goksen, G., Aadil, R. M., Zeng, X. A., Iqbal, M. W., & Lorenzo, J. M. (2023). High-intensity ultrasonication impact on the chlorothalonil fungicide and its reduction pathway in spinach juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106303. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106303>
- Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Monteiro, S. S., Feitoza, J. V. F., Morais, J. R. F., da Silva Eduardo, R., da Silva, A. M., Muniz, C. E. S., Pasquali, M. A. B., Mota, M. M. A., Silva, G. M., Silva, R. A., Costa, E. S., de Queiroga, A. X. M., & da Costa, G. A. (2025). Influence of cold plasma intensity on the enzymatic susceptibility, physicochemical, morphostructural, thermal, and rheological properties of chickpea starch (*Cicer arietinum*). *Food Biophysics*, 20(2), 74. <https://doi.org/10.1007/s11483-025-09966-7>
- Andrade, B. F., do Carmo, L. R., Tanaka, M. S., Ramos, A. D. L. S., & Ramos, E. M. (2025). Evaluation of nonthermal technologies to reduce or replace nitrite in meat products. *Food Technology and Biotechnology*, 63(1), 94-108. <https://doi.org/10.17113/ftb.63.01.25.8744>
- Balakrishna, A. K., Wazed, M. A., & Farid, M. (2020). A review on the effect of high pressure processing (HPP) on gelatinization and infusion of nutrients. *Molecules*, 25(10), 2369.
- Barros, C. P., Grom, L. C., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Almada, C. N., Pimentel, C., Venâncio, E. L., Junior, I. C., Maciel, P. M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Duarte, M. C. K. H., Sant'ana, A. S., & Cruz, A. G. (2021). Paraprobiotic obtained by ohmic heating added in whey-grape juice drink is effective to control postprandial glycemia in healthy adults. *Food Research International*, 140, 109905. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109905>
- Bas, T. G. (2026). Dietary Polyphenols (Flavonoids) Derived from Plants for Use in Therapeutic Health: Antioxidant Performance, ROS, Molecular Mechanisms, and Bioavailability Limitations. *International Journal of Molecular Sciences*, 27(3), 1404. <https://doi.org/10.3390/ijms27031404>
- Brito, I. P. C., & Silva, E. K. (2025). Ultrasound-induced gelation of proteins in plant-based milk: Structural modifications, rheological properties and network formation mechanism. *Food Hydrocolloids*, 166, 111342. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111342>
- Cheng, Y. T., Huang, P. H., Chan, Y. J., Lu, W. C., & Li, P. H. (2026). Ameliorative potential of rice protein hydrolysates prepared through high-pressure processing against diabetic cardiomyopathy. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/D5FO01477H>
- Colussi, R., Kringel, D., Kaur, L., da Rosa Zavareze, E., Dias, A. R. G., & Singh, J. (2020). Dual modification of potato starch: Effects of heat-moisture and high pressure treatments on starch structure and functionalities. *Food Chemistry*, 318, 126475. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126475>
- Daher, D., Le Gourrierc, S., & Pérez-Lamela, C. (2017). Effect of high pressure processing on the microbial inactivation in fruit preparations and other vegetable based beverages. *Agriculture*, 7(9), 72. <https://doi.org/10.3390/agriculture7090072>
- de Souza, H. B., da Costa Henry, F., Martins, M. L. L., Quirino, C. R., de Azevedo Maia Júnior, J., Santos Júnior, A. C., Júnior, A. C. S., de Oliveira, T. C., & de Jesus, E. F. O. (2019). Irradiation of reduced-sodium uncooked lamb sausage: Antimicrobial efficacy and physicochemical impact. *Brazilian Journal of Microbiology*, 50(1), 231-235. <https://doi.org/10.1007/s42770-018-0016-3>
- Deng, W., Wang, Y., Yang, T., Zeng, L., Fu, T., Liao, G., Xu, Z., Zhang, L., & Wang, J. (2025). Quality characters of low-salt semi-dried golden pomfret processed with an innovational substitute of plasma-activated water. *Food Chemistry*, X, 102994. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.102994>
- Desmouts, M. H., Pierrat, N., Ingersheim, A., Strasser, A., & Hasselmann, C. (1998). Use of irradiation in combination with other treatments to improve the quality of precooked meals.

- In Combination processes for food irradiation. Proceedings of the final research co-ordination meeting (pp. 201-221).
- Ehlermann, D. A. (2009). The RADURA-terminology and food irradiation. *Food Control*, 20(5), 526-528. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.07.023>
- European Commission. (2012). Using heat processing to reduce food contamination. CORDIS. <https://cordis.europa.eu/article/id/91121-using-heat-processing-to-reduce-food-contamination/en> (E.T.: 06.06.2026)
- Feliciano, C. P. (2018). High-dose irradiated food: Current progress, applications, and prospects. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 34-36. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.11.010>
- Ferreira, I. C., Antonio, A. L., & Verde, S. C. (Eds.). (2017). Food irradiation technologies: Concepts, applications and outcomes. Royal Society of Chemistry.
- Gavahian, M., Chaosuan, N., Yusraini, E., & Sastry, S. (2025). Roles of ohmic heating to achieve sustainable development goals in the food industry: From reduced energy consumption and resource optimization to innovative production pathways with reduced carbon footprint. *Trends in Food Science & Technology*, 159, 104947. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104947>
- Giura, L., Urtasun, L., Ansorena, D., & Astiasaran, I. (2023a). Comparison between the use of hydrocolloids (xanthan gum) and high-pressure processing to obtain a texture-modified puree for dysphagia. *Food Research International*, 170, 112975. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112975>
- Giura, L., Urtasun, L., Astiasaran, I., & Ansorena, D. (2023b). Application of HPP for the Development of a Dessert Elaborated with Casein and Cocoa for a Dysphagia Diet. *Foods*, 12(4), 882. <https://doi.org/10.3390/foods12040882>
- Gupta, R. K., Shams, R., Bahndral, A., Dash, K. K., Pawase, P. A., & Béla, K. (2025). Effectiveness of Various Plasma Treatments on Nutrient Retention and Food Quality: A Comprehensive Review of Applications and Impact. *Applied Food Research*, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101422>
- Hayashi, R., & Hayashida, A. (1989). Increased amylase digestibility of pressure-treated starch. *Agricultural and biological chemistry*, 53(9), 2543-2544. <https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869672>
- Hussain, M., Gantumur, M. A., Manzoor, M. F., Hussain, K., Xu, J., Aadil, R. M., Quayum, A., Ahmad, I., Zhong, H., & Guan, R. (2023). Sustainable emerging high-intensity sonication processing to enhance the protein bioactivity and bioavailability: an updated review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 97, 106464. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106464>
- Hussain, M., Quayum, A., Zhang, X., Hao, X., Liu, L., Wang, Y., Hussain, K., & Li, X. (2021). Improvement in bioactive, functional, structural and digestibility of potato protein and its fraction patatin via ultra-sonication. *LWT*, 148, 111747. Doi: 10.1016/j.lwt.2021.111747
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2024). Food irradiation. <https://www.iaea.org/topics/food-irradiation> (E.T.: 16.05.2026)
- Jadhav, H. B., Das, M., Das, A., Choudhary, P., Annapure, U., & Alaskar, K. (2024). Enhancing the functionality of plant-based proteins with the application of ultrasound—A review. *Measurement: Food*, 13, 100139. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100139>
- Janardhanan, R., Huerta-Leidenz, N., Ibañez, F.C., & Beriain, M.J. (2023). High-pressure processing and sous-vide cooking effects on physicochemical properties of meat-based, plant-based and hybrid patties. *LWT - Food Science and Technology*, 173, 114273. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114273>
- Ji, X., Xiong, Y. L., & Jiang, J. (2024). Tunable rice protein–starch composite soft gels: Structural role of ultrasound-modified protein. *Food Hydrocolloids*, 148, 109462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109462>
- Jia, H., Ren, F., & Liu, H. (2025). Innovative non-thermal processing: Unraveling structural and functional transformations in food macromolecules—Starch, proteins, and lipids. *Food Research International*, 212, 116500. Doi: 10.1016/j.foodres.2025.116500
- Joeres, E., Drusch, S., Töpfl, S., Juadjur, A., Bindrich, U., Völker, T., Heinz, V., & Terjung, N. (2023). Ohmic vs. conventional heating: Influence of moderate electric fields on properties

- of potato protein isolate gels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103333>
- Junaedi, I., McNeill, L. S., & Hamlin, R. P. (2024). Developing Food Consumer Attitudes towards Ionizing Radiation and Genetic Modification. *Nutrients*, 16(20), 3427. <https://doi.org/10.3390/nu16203427>
- Koorehpaz, K., Andishmand, H., Masoumi, B., Assadpour, E., Yousefi, M., Li, Y., & Jafari, S. M. (2025). A review of the effects of cold plasma on reducing the allergenicity of food proteins; principles, mechanisms and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146972. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146972>
- Li, X., Deng, Y., Qiu, W., Feng, Y., Jin, Y., Chen, L., Li, L., Wang, A. L., Tao, N., & Jin, Y. (2024). Effects of different ohmic heating treatments on parvalbumin structure and reduction of allergenicity in Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Food Chemistry*, 432, 137257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137257>
- Li, Y., Qi, X., Rong, L., Li, J., Shen, M., & Xie, J. (2024). Effect of gellan gum on the rheology, gelling, and structural properties of thermally induced pea protein isolate gel. *Food Hydrocolloids*, 147, 109379. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109379>
- Lin, S., Liang, X., Zhang, J., Kong, B., Sun, F., Cao, C., Zhang H., & Liu, Q. (2024). Combined effect of ultrasound treatment and κ -carrageenan addition on the enhancement of gelling properties and rheological behavior of myofibrillar protein: An underlying mechanisms study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257, 128569. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128569>
- Liu, H., Fan, H., Cao, R., Blanchard, C., & Wang, M. (2016). Physicochemical properties and in vitro digestibility of sorghum starch altered by high hydrostatic pressure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 753-760. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.088>
- Loukri, A., Kissas, T., Kyriakoudi, A., Zymvrakaki, E., Stratakos, A. C., & Mourtzinis, I. (2024). Coupling of cold atmospheric plasma treatment with ultrasound-assisted extraction for enhanced recovery of bioactive compounds from cornelian cherry pomace. *Food Chemistry*, 455, 139989. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139989>
- Manzoor, M. F., Hussain, A., Goksen, G., Ali, M., Khalil, A. A., Zeng, X. A., Jambrak, A. R., & Lorenzo, J. M. (2023). Probing the impact of sustainable emerging sonication and DBD plasma technologies on the quality of wheat sprouts juice. *Ultrasonics sonochemistry*, 92, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106257>
- Manzoor, M. F., Xu, B., Khan, S., Shukat, R., Ahmad, N., Imran, M., Rehman, A., Karrar, E., Aadil, R. M., & Korma, S. A. (2021). Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105740. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105740>
- Medina-Meza, I. G., Balasubramaniam, V. M., Kaven, M., da Silva, A. G., & Guduru, S. S. (2024). Lipidomics unveils changes in oxidised lipids in human breast milk by high-pressure processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 7139-7151.
- Meinlschmidt, P., Brode, V., Sevenich, R., Ueberham, E., Schweiggert-Weisz, U., Lehmann, J., Rauh, C., Knorr, D., & Eisner, P. (2017). High pressure processing assisted enzymatic hydrolysis—An innovative approach for the reduction of soy immunoreactivity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.022>
- Misra, N. N., & Jo, C. (2017). Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.005>
- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S., Saraiva, J. A., & Barba, F. J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International*, 97, 318-339. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.001>
- Muanghorn, W., Konsue, N., Sham, H., Othman, Z., Mohamed, F., Mohd Noor, N., Othman, N., Akmal, N. S. S. M. N., Fauzi, N. A., Solomen, M. M. P. D., & Abdull Razis, A. F. (2018). Effects of gamma irradiation on tropomyosin allergen, proximate composition and mineral elements in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 1960-1965. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3104-3>

- Mustafa, S., Yang, X., Keener, K. M., & Cheng, J. H. (2026). Mapping bioactive response pathways to cold plasma processing in food matrices: mechanisms, hybrid processing, and applications. *Food Research International*, 118854. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118854>
- Nutter, J., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., & Elez-Martínez, P. (2026). Optimised ultrasound treatments enhance hydration properties and induce structural modifications in dietary fibre concentrates derived from orange peels. *Sustainable Food Technology*. <https://doi.org/10.1039/D5FB00922G>
- Nuygen, M., Arvaj, L., & Balamurugan, S. (2024). The use of high pressure processing to compensate for the effects of salt reduction in ready-to-eat meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(9), 2533-2547. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2124398>
- Pang, L., Chen, C., Liu, M., Huang, Z., Zhang, W., Shi, J., Yang, X., & Jiang, Y. (2025). A comprehensive review of effects of ultrasound pretreatment on processing technologies for food allergens: Allergenicity, nutritional value, and technofunctional properties and safety assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70100>
- Park, J. G., Song, B. S., Kim, J. H., Han, I. J., Yoon, Y., Chung, H. W., Kim, E. J., Gao, M., & Lee, J. W. (2012). Effect of high-dose irradiation and autoclave treatment on microbial safety and quality of ready-to-eat Bulgogi sauce. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(8), 1118-1120. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.01.012>
- Pereira, R. N., Costa, J., Rodrigues, R. M., Villa, C., Machado, L., Mafra, I., & Vicente, A. (2020). Effects of ohmic heating on the immunoreactivity of β -lactoglobulin—a relationship towards structural aspects. *Food & Function*, 11(5), 4002-4013. <https://doi.org/10.1039/C9FO02834J>
- Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Ramos, O. L., Pinheiro, A. C., Martins, J. T., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2018). Electric field processing: Novel perspectives on allergenicity of milk proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(43), 11227-11233. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03689>
- Rivera-Tobar, D., Pérez-Won, M., Jara-Quijada, E., González-Cavieles, L., Tabilo-Munizaga, G., & Lemus-Mondaca, R. (2025). Principles of ultrasonic agglomeration and its effect on physicochemical and macro-and microstructural properties of foods. *Food Chemistry*, 463, 141309. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141309>
- Rodrigues, I., Baldini, A., Pires, M., Barros, J. C., Fregonesi, R., de Lima, C. G., & Trindade, M. A. (2021). Gamma ray irradiation: A new strategy to increase the shelf life of salt-reduced hot dog wieners. *LWT*, 135, 110265. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110265>
- Rostami, M., Ghorbani, A., & Shahbazi, S. (2024). Gamma radiation-induced enhancement of biocontrol agents for plant disease management. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100308>
- Rout, S., Panda, P. K., Dash, P., Srivastav, P. P., & Hsieh, C. T. (2025). Cold plasma-induced modulation of protein and lipid macromolecules: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(4), 1564. <https://doi.org/10.3390/ijms26041564>
- Saran, V., Pavithra, R., Koli, V., Dattatrya, P. A., Nikashini, T., Ashika, R., Nanje Gowda, N. A., & Sunil, C. K. (2024). Ultrasound modification of techno-functional, structural, and physico-chemical properties of legume proteins: A review. *Food Bioscience*, 60, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104456>
- Sasikumar, R., Mangang, I. B., Kaviarasu, G., Kaushik, R., Mansingh, P., Tomer, V., & Jaiswal, A. K. (2025). A comprehensive review on cold plasma applications in the food industry. *Sustainable Food Technology*, 3(5), 1251-1274. <https://doi.org/10.1039/D5FB00148J>
- Shah, M. A., Mir, S. A., & Pala, S. A. (2014). Enhancing food safety and stability through irradiation: A review. *Journal Of Microbiology, Biotechnology And Food Sciences*, 3(5), 371-378. <https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/6997>
- Sousa, J. B., Martins, C. P., T Filho, E. R., Guimarães, J. T., Pagani, M. M., Mársico, E. T., Freitas, M. Q., Souza, V. P., Flores, E. M. M., Cruz, A. G., & Esmerino, E. A. (2025). High-intensity ultrasound processing of blueberry pulp: a pathway to improve physicochemical quality and bioactive retention in enriched skyr. *Ultrasonics Sonochemistry*, 107513. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107513>

- Sun, H., Kawamura, S., Himoto, J. I., Itoh, K., Wada, T., & Kimura, T. (2008). Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk. *Food Science And Technology Research*, 14(2), 117-123. <https://doi.org/10.3136/fstr.14.117>
- Urugo, M. M., Getachew, P., Finsa, M. M., Teka, T. A., & Kebede, B. T. (2026). Clean-Label Trends in Processed Foods: Challenges in Formulation and Consumer Expectations. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 25(3), e70505. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70505>
- van Ommen, B., van den Broek, T., de Hoogh, I., van Erk, M., van Someren, E., Rouhani-Rankouhi, T., Anthony, J. C., Hogenelst, K., Pasman, V., & Wopereis, S. (2017). Systems biology of personalized nutrition. *Nutrition reviews*, 75(8), 579-599. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux029>
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal Of Food Science And Technology*, 51(10), 2304-2317. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0710-3>
- Vegconomist, (2023). Meet Leggie: Spain's clean label plant-based meat crafted with carob and HHP tech. *vegconomist - the vegan business magazine*. 5 Ekim 2023. (E.T.: 8 Haziran 2026). <https://vegconomist.com/manufacturing-technology/meet-leggie-spains-clean-label-plant-based-meat-crafted-with-carob-and-hhp-tech/>
- Villamiel, M., García-Pérez, J. V., Montilla, A., Carcel, J. A., & Benedito, J. (Eds.). (2017). Ultrasound in food processing: Recent advances.
- Wang, X. X., Li, Y. S., Zhou, Y., Ma, F., Li, P. J., & Chen, C. G. (2019). Effect of resistant corn starch on the thermal gelling properties of chicken breast myosin. *Food Hydrocolloids*, 96, 681-687. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.013>
- Wang, Y., Zhang, L., Zhao, J., Raghavan, V., Qian, J., & Wang, J. (2025). Insight into the mechanism of ultrasound-assisted cold plasma alleviated the allergenicity of peanut protein with improved functional properties. *Food Hydrocolloids*, 166, 111295. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111295>
- White, S., Jackson-Davis, A., Gordon, K., Morris, K., Dudley, A., Abdallah-Ruiz, A., Allgaier, K., Sharpe, K., Yenduri, A. K., Green, K., & Santos, F. (2025). A review of non-thermal interventions in food processing technologies. *Journal of Food Protection*, 88(6), 100508. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100508>
- Xu, F., Wang, Y., & Ji, J. (2025). Evaluation of the impact of 60Co γ -ray irradiation on aflatoxin abatement and quality attributes in peanut press cake. *Radiation Physics and Chemistry*, 235, 112854. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2025.112854>
- Xu, H., Lv, Y., Zhou, B., Zhou, X., Gao, J., Qiao, D., Li, B., & Zhang, B. (2025). Ultrasound-assisted construction of the curdlan-pea protein gel network for dysphagia management: Texture modification and interaction exploration. *Food Hydrocolloids*, 166, 111363. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111363>
- Yildiz, G., & Yıldız, G. (2025). Alteration of proteins upon high-pressure processing treatment. In *Non-thermal Processing of Major Food Macromolecules* (pp. 91-117). Academic Press.
- Zahid, U., Ashraf, W., Ali, K., Niazi, S., Iqbal, M. W., Nisha, Mustafa, S., Naseem, T., Nasir, M. A., Shoaib, M., & Khan, I. M. (2025). Emerging Nonthermal Technologies for Allergen Reduction in Foods: A Systematic Review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2025(1), 3503385. <https://doi.org/10.1155/jfpp/3503385>
- Zargarchi, S., Hornbacher, J., Afifi, S. M., Saremnezhad, S., Günel-Köroğlu, D., Capanoglu, E., & Esatbeyoglu, T. (2024). Exploring the impact of cold plasma treatment on the antioxidant capacity, ascorbic acid, phenolic profile, and bioaccessibility of fruits and fruit juices. *Food frontiers*, 5(3), 1108-1125. <https://doi.org/10.1002/fft2.372>
- Zeng, F., Li, T., Gao, Q., Liu, B., & Yu, S. (2018). Physicochemical properties and in vitro digestibility of high hydrostatic pressure treated waxy rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1030-1038. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.121>
- Zhang, L., Raghavan, V., & Wang, J. (2025). Traditional and emerging physical processing technologies: Applications and challenges in allergen control of animal and plant proteins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(4), e70196. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70196>

- Zhang, S., Han, J., & Chen, L. (2023). Fabrication of pea protein gels with modulated rheological properties using high pressure processing. *Food Hydrocolloids*, 144, 109002. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109002>
- Zhu, X., Wang, W., Shen, J., Xu, X., & Zhou, G. (2018). Influence of gamma irradiation on porcine serum albumin structural properties and allergenicity. *Journal of AOAC International*, 101(2), 529-535. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0160>

FONKSİYONEL BİLEŞENLER VE SÜPER GIDALAR

Benan Dinç Girgin*

GİRİŞ

Fonksiyonel gıdalar, 1980'lerin başında Japon bilimsel akademik topluluğu tarafından tanımlanmıştır. 1991 yılında Japonya Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı, gıdaların insan vücudu üzerindeki etkisine ilişkin gıda etiketlerinde yapılan açıklamaları onaylamak için “belirli sağlık amaçlı gıdalar” adlı bir düzenleme sistemi kurmuştur. Söz konusu gıdalar, sağlık üzerine olumlu etkiler gösteren, günlük beslenme içerisinde tüketilen ve takviye edici gıda niteliği taşımayan ürünler olarak ifade edilmektedir (Shimizu, 2003). Pratikte, bu gıdalar, fonksiyonel, doğal, sağlıklı destekleyici bir bileşen eklenmiş veya belirli sağlık nedenleriyle bir bileşeni çıkarılmış, belirli bir sağlık yararı sağlamak için teknolojik/kimyasal yollarla bir bileşeni ya da biyoyararlanımı değiştirilmiş bir gıda veya bunların herhangi bir kombinasyonu olabilmektedir (Lagouri, 2019). Fonksiyonel gıdalardaki biyoaktif bileşikler, antioksidan, antienflamatuvar, lipid düşürücü, kan şekeri düzenleyici, sitoprotektif ve nöroprotektif aktiviteler gibi çeşitli fonksiyonlar sergilemekte ve bu da etkinliklerinin temelini oluşturmaktadır (Oliveira Filho & Egea, 2022). Fonksiyonel gıdalar, fizyolojik ritimleri ve metabolizmayı düzenleme (örneğin, kan şekeri ve lipid düzenlemesi), vücudun savunma yeteneklerini artırma (örneğin, antioksidan aktivite ve bağışıklık modülasyonu), belirli hastalık risklerini önleme (örneğin, kardiyovasküler hastalık ve osteoporoz), büyüme ve gelişmeyi teşvik etme veya belirli fizyolojik durumları koruma (örneğin, bağırsak sağlığını iyileştirme ve yaşlanmayı geciktirme) ve iç homeostazı geri kazandırma/koruma gibi çok yönlü etki mekanizmalarına sahiptir (Lin vd., 2021). Fonksiyonel gıdaların sağlık üzerindeki potansiyel yararları, sahip oldukları biyoaktif bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Probiyotik yoğurtlar ile kalsiyum ve omega-3 yağ asitleriyle zenginleştirilmiş süt ve meyve suları gibi işlenmiş ürünlerin yanı sıra; somon, çilek, yeşil çay, sebzeler, meyveler, kuruyemişler, tahıllar ve ekmekler gibi “süper gıda” olarak

* Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik, Kütahya, benan.dincgirgin@dpu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0001-6682-6567

adlandırılan geleneksel gıdalar da sağlık destekleyici özellikleri nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir (Gupta & Mishra, 2021).

"Süper gıda" terimi, ilk olarak 1960'larda yetersiz beslenmeyle mücadele edebilen gıdaları tanımlamak için ortaya atılmış (Jelliffe, 1997), ancak 2000'lerden bu yana anlamında önemli bir değişiklik geçirerek pazarlama stratejilerinin hedefi haline gelmiştir. Son zamanlarda, sağlıklı beslenme ihtiyacı, gelişmiş bölgelerdeki orta ve yüksek gelir grupları arasında popüler hale gelen bu gıdalara olan talebin artmasına yol açmıştır (Santunione & Montevecchi, 2025). Beslenmeye bağlı sağlık sorunlarının ve özellikle fazla kilo ile obezitenin giderek artması, yüksek besleyici değere sahip alternatif gıda kaynaklarına olan ilgiyi artırırken, "süper gıdalar" bu sorunların çözümünde önemli bir potansiyel sunmakta; ancak sürdürülebilir üretim ve tedarik süreçlerinin geliştirilmesi ile sağlık yararlarına ilişkin iddiaların bilimsel verilerle desteklenmesi gerekmektedir (Popova vd., 2024). Küresel süper gıdalar pazarı 2021 yılında 152 milyar dolar büyüklüğündeyken, 2027 yılına kadar bu pazar hacminin %41 oranında artış göstereceği öngörülmektedir (Shahbandeh, 2022). Süper gıdalara olan talebi ve sektörün genel büyümesini destekleyen başlıca etkenler arasında artan sağlık harcamaları, yaşlanan nüfus, gıda yenilikleri, değişen yaşam tarzları ve artan sağlık bilinci yer almaktadır (Arumugam vd., 2021). Tüketicilerin artan beklentileri doğrultusunda, süper gıdaların özellikleri ve potansiyel sağlık yararları hakkında bilgilendirme yapılması önem taşırken, bu ürünlerin sınıflandırılması ve sağlık beyanlarının güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için küresel ölçekte ortak düzenlemeler ve asgari standartların oluşturulması gerekmektedir (Fernández-Ríos vd., 2023).

Bu bölümde, gıdalarda doğal olarak bulunan veya fonksiyonel amaçlarla kullanılan başlıca biyoaktif bileşenler sınıflandırılarak sağlık üzerindeki potansiyel etkileri ele alınmış, ayrıca besleyici değerleri ve fonksiyonel özellikleriyle öne çıkan süper gıdalar güncel bilimsel veriler ışığında değerlendirilmiştir.

Fonksiyonel bileşenler

Fonksiyonel gıdalar, temel beslenme ihtiyaçlarını karşılamadan yanı sıra, birey sağlığı üzerinde ek faydalar sağlayan gıda ve gıda bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (Marcia-Fuentes vd., 2025). Vitaminler, polifenoller, flavonoidler, karotenoidler, peptitler ve diyet lifleri gibi

biyoaktif bileşikler; kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve bazı kanser türleri dahil olmak üzere bulaşıcı olmayan hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde önemli rol oynamaktadır (Rivero-Montejo vd., 2021; Samtiya vd., 2021).

Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler, başlıca bitki dokularında bulunan ve antioksidan, antimikrobiyal, antienflamatuvar ile antiproliferatif etkiler gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip doğal biyoaktif moleküller olup, bu özellikleri nedeniyle farklı endüstriyel alanlarda kullanım açısından önemli bir ilgi odağı oluşturmaktadır (Albuquerque vd., 2021). Fenolik bileşikler, fenolik asitler gibi düşük molekül ağırlıklı yapılardan tanenler gibi daha kompleks ve yüksek derecede polimerize olmuş yapılara kadar uzanan geniş bir çeşitlilik sergilemekte olup, 8000'den fazla farklı yapının tanımlandığı fenolik bileşiklerde ve bitkilerde en yaygın bulunan ikincil metabolit gruplarından birini oluşturmaktadır (Eseberri vd., 2022).

Kalp damar hastalıkları, diyabet, yaşlanma, kanser ve nörolojik hastalıklar dahil olmak üzere çok sayıda insan rahatsızlığı oksidatif strese etkilenebilmektedir (Aruoma, 1998). Beslenme yoluyla alınan ve oksidatif stresi dengeleyen antioksidanlar, bu patolojik durumlara karşı koruma sağlayabilmektedir. Polifenolik bileşikler, insan diyetinde en bol bulunan antioksidanlardır ve büyük ölçüde bitki bazlı gıda ve içeceklerde bulunmaktadır (Beckman, 2000; Spencer vd., 2008).

Karotenoidler

Karotenoidler, pek çok meyve, sebze ve çiçeğe sarı, turuncu ve kırmızı tonlarını veren; bitkilerden bakterilere kadar tüm fotosentetik canlılarda bulunan ve yağda çözünebilen doğal pigmentlerin en geniş grubunu oluşturmaktadır (Sonawane vd., 2020). Kimyasal açıdan karotenoidler, sekiz izopren biriminin birleşmesiyle oluşan ve karbon zincirinin uçlarında halkasal ya da doğrusal yapılar taşıyabilen bileşiklerdir. Bu yapı, hem cis hem de trans izomerlerin ortaya çıkmasına yol açar; ancak doğada daha yaygın olarak trans izomerine rastlanmaktadır (González-Peña vd., 2023). Karotenler ve ksantofiller, karotenoidlerin iki kategorisini oluşturmaktadır. Karotenler arasında likopen, α -karoten, β -karoten ve γ -karoten bulunmaktadır (Guerrero-Legarreta vd., 2013).

Karotenoid alımının, olumlu sağlık etkileriyle bağlantılı olduğu ve çeşitli kronik hastalıkların riskini azaltabildiği bilinmektedir. Görme

duyusunun oluşumu ve korunması, β -karoten, α -karoten, γ -karoten ve β -kriptoksantin gibi provitamin A karotenoidlerine bağlıdır. Zeaksantin, β -kriptoksantin, lutein, likopen, α -karoten ve β -karotenin tümü güçlü antioksidan aktiviteye sahiptir ve serbest radikalleri temizlemeyi teşvik ederek kronik hastalıkların önlenmesine yardımcı olmaktadır (González-Peña vd., 2023).

Kromoplastlar (renkli plastidler), amiloplastlar (nişasta depolama plastidleri) ve elaioplastlar (lipit depolama plastidleri), karotenoidleri depolayan bitki hücrelerine örneklerdir. Karotenoidler meyvelerin, çiçeklerin ve köklerin kromoplastlarında bulunurken, sırasıyla tahılların ve yağlı tohumların amiloplastlarında ve elaioplastlarında bulunmaktadır (Howitt & Pogson, 2006). Buna karşılık ksantofiller, yeşil bitki kısımlarında serbest halde bulunurken, meyve ve çiçeklerde çoğunlukla yağ asitleriyle esterleşmiş biçimde yer almaktadır (Perera & Yen, 2007).

Alkaloidler

Alkaloidler, çeşitli bitki türlerinde (*Coffea* spp., *Erythroxylum coca*, *Cinchona* spp. vb.) doğal olarak bulunan bileşikler olup, biyolojik, tıbbi ve farmakolojik uygulamalar için büyük bir potansiyele sahiptir (Letchuman vd., 2024). Tipik olarak amino asitlerden biyosentezlenen alkaloidler, öncelikle bitkilerden elde edilir; ancak bazı türleri mantarlarda ve bazı hayvan türlerinde de bulunur (Aniszewski, 2007). Kimyasal yapılarına göre alkaloidler, organik aminler, diterpenoidler, piridinler, izokininler, indoller, pirolidinler, steroidler, imidazoller ve pürinler olarak sınıflandırılabilir (Yang vd., 2024). Alkaloidler doğada patojenlere karşı hayati savunma ajanları olarak görev yapar ve bitkilerdeki bilinen ikincil metabolitlerin yaklaşık %20'sini temsil eder (Ramírez-Gómez vd., 2019; Kaushik vd., 2021). Yerleşik rollerine ek olarak, alkaloidler antioksidan, antiinflamatuvar, antikanser, antimikrobiyal, antimalaryal, immünomodülatör, hepatoprotektif, antidiyabetik, kardiyoprotektif ve analjezik özellikler de dahil olmak üzere geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi sergilemektedir (Pereira vd., 2023; Riaz vd., 2023).

İnsan diyetinde yaygın olarak bulunan alkaloidlere, kahve çekirdeklerinden elde edilen kafein, kakao çekirdeklerinde bulunan kafein ve teobromin, çay yapraklarında yer alan kafein ve teofilin, domateslerden elde edilen tomatin, patateslerden elde edilen solanin ile kola tipi gazlı içeceklerde bulunan kafein örnek olarak verilebilir (Kurek, 2019). Kırmızı

biberin (*Capsicum annuum*) acı alkaloidi olan kapsaisin; kardiyoprotektif, taş oluşumunu önleyici, antienflamatuvar, analjezik ve termojenik etkilerinin yanı sıra gastrointestinal sistem üzerinde de faydalı etkilere sahiptir (Srinivasan, 2016). Haşhaş kaynaklı alkaloidlerin çoğu (örneğin morfin ve kodein) analjezik ve narkotik etkilere sahipken, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration, FDA) onaylı papaverin kimyasal ve terapötik açıdan farklı olup, fosfodiesteraz inhibitörü olarak etki gösteren, narkotik olmayan bir düz kas gevşetici ve vazodilatör olarak klinikte kullanılmaktadır (Ashrafi vd., 2023). Bununla birlikte, bazı alkaloidler insanlar ve hayvanlar üzerinde toksik etkilere sahip olabilmektedir. Sıkça kötüye kullanılan maddeler arasında morfin, kokain, kafein ve nikotin gibi alkaloidler bulunur (Beyer, vd., 2009).

Glukosinolatlar ve sülfürlü bileşikler

Glukosinolatlar, başta brokoli, kara lahana ve Brüksel lahanası gibi turpgillerde bulunan kükürt içeren bileşiklerdir. Tüketim sonrası mirosinaz enzimi ile hidrolize olarak izotiyosiyanatlar ve indol türevleri gibi biyoaktif ürünlere dönüşerek kanser önleyici, antienflamatuvar ve kardiyoprotektif etkiler göstermektedir (Baldelli vd., 2025). Turpgiller açısından zengin Akdeniz diyeti, kardiyovasküler hastalıklar, metabolik bozukluklar ve bazı kanserler üzerinde koruyucu etkiler gösterirken, glukosinolat türevi sülforafan gibi biyoaktif bileşikler antioksidan, antienflamatuvar ve kanser önleyici etkiler sergilemektedir. Ayrıca izotiyosiyanatlar ve indoller brokoli, lahana, Brüksel lahanası ve hardal yeşili gibi sebzelerde bol miktarda bulunmakta olup, bu bileşiklerin alımını optimize etmeye yönelik diyet önerileri geliştirilmektedir (Manchali vd., 2012).

Kardiyovasküler sağlık açısından, günlük yaklaşık 300 g turpgiller familyasından sebzelerin tüketiminin önemli yararlar sağladığı, bu düzeyin hafif hipertansiyonu olan bireylerde sistolik kan basıncını düşürdüğü ve vasküler fonksiyonu iyileştirdiği bildirilmiştir (Connolly vd., 2024). Çeşitli çalışmalar, özellikle kolza yağı, brokoli ve türevleri üzerinden glukosinolatların kardiyovasküler biyobelirteçler üzerindeki etkilerini incelemiş; kolza yağının lipid profilini iyileştirme, oksidatif stresi azaltma, antienflamatuvar etki gösterme ve endotelial fonksiyonları destekleme potansiyeli göstererek kardiyovasküler sağlık açısından önemli bir beslenme bileşeni olduğunu ortaya koymuştur (Baldelli vd., 2025).

Kükürt hem bitkiler hem de insanlar için temel bir besin ögesidir. Diyetle alınan kükürt miktarı büyük ölçüde tüketilen bitkilerin kükürt içeriğine bağlıdır. İnsanlarda kükürt gereksinimi, başta sistein ve metiyonin olmak üzere kükürt içeren amino asitlerin sentezi ve metabolizması ile ilişkilidir. Ayrıca bazı bitkiler, özellikle turpgiller ve soğanlı sebzeler, glukosinolatlar ve sistein sülfoksitler gibi koruyucu özellik gösteren kükürtlü ikincil metabolitler açısından zengin kaynaklar olarak öne çıkmaktadır (Hill vd., 2023). Kükürt bileşikler, esterlerden sonra gıdalardaki uçucu bileşenlerin ikinci en büyük kategorisini oluşturdukları için gıda aromasının oluşumunda da önemli bir etkiye sahiptir. Kükürtlü bileşikler, izotiyosiyanatlar, nitriller, sülfidler, polisülfidler ve tiyoller ile çok çeşitli bileşikler içeren birçok farklı kategoriye ayrılabilir (Marcinkowska & Jeleń, 2022). Kükürt, vücutta antioksidan ve antienflamatuar süreçlerde görev alarak serbest radikallerin nötralizasyonuna katkıda bulunmakta ve oksidatif strese bağlı hücre hasarının önlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Francioso vd., 2020).

Fitosteroller

Fitosteroller, kolesterole benzer kimyasal yapıya ve fizyolojik işlevlere sahip bitkilerde yaygın olarak bulunan doğal bitki kaynaklı bileşiklerdir (Nattagh-Eshtivani vd., 2022). Söz konusu bileşikler steroller ve stanoller olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Steroller grubunda sitosterol, kampesterol ve stigmasterol yer alırken; stanoller grubu başlıca sitostanol ve kampestanolden oluşmaktadır (Li vd., 2022). İnsanlar fitosterollerini kendi başlarına sentezleyemezler ve bunları esas olarak bitkisel yağlardan, kuruyemişlerden ve mantarlar gibi besinler yoluyla diyetle alırlar (Zhou vd., 2022). Kolesterol düşürücü, antienflamatuar ve antikanser etkiler gibi önemli biyolojik aktiviteleri nedeniyle dikkat çekmekte olup, fitosterol açısından zengin gıdaların uzun süreli tüketiminin kanser riskinde yaklaşık %20 oranında azalma ile ilişkili olabileceği bildirilmektedir (Ramprasath & Awad, 2015). Fitosteroller, kolesterol düşürücü etkiye sahip nutrasötik ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde, doğal antioksidan olarak ve yağ ikame bileşeni şeklinde olmak üzere gıda endüstrisinde çok yönlü kullanım alanlarına sahiptir (Younas vd., 2024).

Biyoaktif peptitler

Biyoaktif peptitler, genellikle 2 ila 20 amino asit kalıntısından oluşan ve bir gıda substratının fermentasyonu sırasında çeşitli proteinlerin hidroliziyle üretilen küçük amino asit dizileridir (Chourasia vd., 2023). Gıda kaynaklı biyoaktif peptitler; süt, et, yumurta, bitkiler ve deniz ürünleri gibi çeşitli kaynaklardan, gıdaların sindirimi, enzimatik hidrolizi veya fermentasyonu sonucunda elde edilmektedir (Hajfathalian vd., 2018; Ghanbari, 2019). Gıda proteininden türetilen söz konusu peptitler, beslenmeyle ilgili kronik hastalıkları önleme veya hafifletme potansiyeli gösteren doğal bileşiklerin temsilcileridir (Cao vd., 2022). Biyoaktif peptitlerle zenginleştirilmiş gıdalar, antioksidan, antihipertansif, antidiyabetik ve immünomodülatör etkiler gibi çeşitli sağlık yararları sağlamaktadır (Chourasia vd., 2023).

Günümüzde hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet ve obezite gibi beslenmeyle ilişkili kronik hastalıkların her yıl dünya genelindeki tüm ölümlerin %70'ine denk gelen yaklaşık 40 milyon can kaybına neden olduğu tahmin edilmektedir (de Melo Ribeiro vd., 2019). Son araştırmalar, bu biyoaktif peptitlerin diyabet ve obezite yönetiminde çeşitli olası sağlık yararları sağladığını göstermiştir (Wang vd., 2023). Bugüne kadar, inek sütü, peynir ve süt ürünleri, biyoaktif peptit üretimi için en çok incelenen kaynaklardır (Bleakley vd., 2017; Sánchez & Vázquez, 2017). Ayrıca, baklagillerden, yağlı tohumlu bitkilerden, yumru köklü bitkilerden, ağaç yemişlerinden ve hatta meyve ve sebze yan ürünlerinden de proteinler izole edilmiştir (Nwachukwu & Aluko, 2021). Bununla birlikte, böcekler, mantarlar, deniz makroalgleri, yeterince değerlendirilmeyen gıda ürünleri, balık türleri ve tarımsal yan ürünler gibi çeşitli geleneksel olmayan ve sürdürülebilir protein kaynakları, yeni biyoaktif peptitleri açısından araştırılmaktadır (Agyei & Danquah, 2011).

Probiyotikler ve prebiyotikler

Probiyotikler, bağırsak mikrobiyomunu da değiştirebilen ve konakçıya fayda sağlayan canlı, patojenik olmayan mikroorganizmalardır (Hill vd., 2014). Prebiyotikler, konakçıya fayda sağlayan gastrointestinal bakterilerin bileşimini ve/veya aktivitesini değiştiren sindirilemeyen, fermente edilebilir gıda bileşenleridir (Gibson vd., 2010). Prebiyotik ve probiyotikler, bağırsıklık ve sinir sistemini modüle etme, bağırsak bariyerini ve besin emilimini iyileştirme, patojenlerle rekabet etme ve

antimikrobiyal maddeler üretme gibi terapötik etkiler göstermektedir. Bu etkilerin büyük ölçüde immünomodülatör metabolitlerin üretimiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Rau vd., 2024).

Birçok çalışma, probiyotiklerin insanlarda tip 2 diyabet, obezite, iltihaplanma, tümörler, alerji, metabolik bozukluklar ve bulaşıcı hastalıklara karşı faydalı kullanımlarını göstermiştir (Goldin & Gorbach, 2008; Petrof, 2009; Kerry vd., 2018; Sun vd., 2020).

Sezaryenle doğan bebeklerde probiyotik ve prebiyotik takviyesi, dışkı mikrobiyotasındaki farklılıkları belirli ölçüde dengeleyebilir. Bu durum, doğum şeklinin doğum sonrası mikrobiyota gelişiminde doğrudan bir belirleyici olmaktan çok dolaylı bir rol üstlenebileceğine işaret etmektedir (Montoya-Williams vd., 2018). Ayrıca çocukluk çağı obezitesinin önlenmesi ve tedavisinde probiyotiklerin önemli potansiyeli, çok sayıda çalışma ile gösterilmiştir (Depoorter & Vandenplas, 2021; Tomé-Castro vd., 2021).

Hareketsiz ve aşırı kilolu bireylerde prebiyotik ve probiyotik takviyelerinin sistemik enflamasyonu azaltıp insülin duyarlılığını artırarak metabolik dengeyi iyileştirdiği; simbiyotik kullanımın ise bu etkileri güçlendirdiği bildirilmektedir. Ayrıca sporcularda mikrobiyota modülasyonunun hem performansın artırılması hem de egzersiz sonrası toparlanmanın desteklenmesi üzerinde olumlu etkiler gösterebileceği belirtilmektedir (Grazioli vd., 2024).

Probiyotikler kronik hastalıkların yönetiminde ve insan sağlığının iyileştirilmesinde ekonomik ve güvenli bir seçenek olarak kabul edilirken, bağışıklık sistemini düzenleyip çeşitli hastalıklara karşı koruma sağlamaktadır. Bu etkilerini kolonizasyonun desteklenmesi, patojenlerin baskılanması ve konak hücrelerinin uyarılması gibi mekanizmalar aracılığı ile ortaya koymaktadır. Prebiyotikler ise sindirilemeyen besin bileşenleri olarak bağırsak mikrobiyotasını ve bağışıklık sistemini olumlu yönde etkileyerek, probiyotiklerin gelişimini ve genel sağlığı seçici biçimde desteklemektedir (Yadav vd., 2022).

Yağ asitleri

Yağ asitleri, hücre zarı yapıları, enerji depolama ve üretimi ile sinyal iletimi gibi çeşitli hücresel süreçleri destekleyen temel biyomoleküllerdir (Sokei vd., 2025). Kısa, orta ve uzun zincirli yağ asitleri, zincir uzunlukları ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı fiziksel, metabolik ve biyolojik

işlevlere sahip olup, başta bağışıklık hücreleri olmak üzere çeşitli hücrelerde mitokondriyal β -oksidasyon yoluyla önemli bir enerji kaynağı olarak görev yapmaktadır. Ayrıca, optimal düzeylerde bulunduklarında bağışıklık hücrelerinin normal farklılaşma ve işlevlerini desteklemektedirler (Kim, 2026).

Diyetsel yağlar, esansiyel yağ asitleri ve yağda çözünen vitaminlerin sağlanmasının yanı sıra sporcularda enerji dengesinin korunması açısından önemli bir besin ögesidir. Doymuş ve trans yağ tüketiminin sınırlandırılması ve özellikle omega-3 (ω -3) yağ asitleri gibi sağlıklı yağ kaynaklarının artırılması, ayrıca tüketilen yağın miktarı kadar türü de atletik performans ve genel sağlık açısından önem taşımaktadır (Filiz Demir, 2023). Eikosapentaenoik Asit (EPA) ve Dokosaheksaenoik Asit (DHA) gibi uzun zincirli ω -3 yağ asitlerinin, kronik enflamatuvar hastalıkların yönetiminde olumlu etkiler gösterebildiği belirtilmektedir. Bu doğrultuda, ω -3 indeksinin değerlendirilmesi, bireyselleştirilmiş takviye stratejilerinin planlanmasında önemli bir gösterge olarak kullanılabilir. Bunun yanında, yapay trans yağlardan ve sentetik Konjuge Linoleik Asitten (CLA) kaçınılması, omega-6 (ω -6) yağ asitlerinin ise tamamen kısıtlanmadan EPA/DHA ile dengeli tüketilmesi gerekmektedir (Waehler, 2023).

Balık yağı, konak savunma mekanizmalarını bozmadan enflamasyonun aktif çözülmesinde rol oynayan ω -3 çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olup ameliyat sonrası iyileşmeyi destekleyebilir ve kas kütlesinin korunmasına katkı sağlayabilir (Serhan vd., 2024). Ameliyat ve travma sonrası gelişen olumsuz fizyolojik değişikliklerin hafifletilmesinde beslenme desteği önemli rol oynarken, enteral veya oral beslenmenin yetersiz kaldığı durumlarda parenteral beslenme önerilmektedir; bu kapsamda balık yağı içeren intravenöz lipid emülsiyonlarının, cerrahi ve kritik hastalarda klinik sonuçları iyileştiren ve maliyet etkinliği sağlayan avantajlı bir yaklaşım olduğu bildirilmektedir (Martindale vd., 2025). Lipotoksiste, tip 2 diyabet gelişiminde önemli bir unsurdur. Diyabeti tetikleyen beslenme düzenleri hiperglisemi ve hiperlipidemi ile ilişkilidir. Beslenme bağlamında, veriler, tip 2 diyabetin ortaya çıkmasında β -hücre disfonksiyonu ve ölümüne yol açan glukolipotoksisitede lipid bileşeninin önemini vurgulamaktadır. Doymuş serbest yağ asitlerinin neden olduğu β -hücre ölümü, stearik asitten başlayarak zincir uzunluğuna bağlı bir şekilde yüksek glikoz konsantrasyonları tarafından güçlendirilirken, tekli

doymamış serbest yağ asitleri durumunda toksisite değişmeden kalmaktadır (Von Hanstein vd., 2023).

Araşidonik asit bitkisel gıdalarda çok düşük düzeylerde bulunduğundan, ağırlıklı olarak bitkisel kaynaklı beslenme biçimlerinin, özellikle vejetaryen ve vegan diyetlerin, araşidonik asit yetersizliği riskini artırabileceği düşünülmektedir. Mevcut bulgular, hamile ve emziren kadınlar ile bebek, çocuk ve ergenler dahil olmak üzere bireylerin bitkisel beslenme ile yeterli düzeyde araşidonik asit sentezleyebileceğini düşündürmekte ve bu nedenle vejetaryen veya vegan diyetlerde rutin araşidonik asit takviyesinin gerekli olmadığı değerlendirilmektedir; ancak risk gruplarına ilişkin verilerin sınırlı olması ve kesin referans aralıklarının bulunmaması nedeniyle bu sonuçların temkinli yorumlanması ve konuya yönelik daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir (Weder vd., 2025).

Vitaminler

Vitaminler, normal büyüme ve işlevde rol oynayan enzim sistemlerinin temel bileşenleridir (Chungchunlam & Moughan, 2024). Vitaminler, çözünürlük özelliklerine göre yağda çözünen ve suda çözünen vitaminler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yağda çözünen vitaminler A, D, E ve K vitaminlerini içerirken; suda çözünen vitaminler C vitamini ile birlikte biotin (B7), folat (B9), niasin (B3), pantotenik asit (B5), riboflavin (B2), tiamin (B1), B6 ve B12 vitaminlerinden oluşmaktadır (Chungchunlam & Moughan, 2024). Mikro besin maddelerinin yeterli düzeyde alınması, özellikle bebekler, çocuklar ve ergenler için büyük önem taşımakta olup, bu gereksinim yaşa uygun, dengeli ve çeşitli bir beslenme düzeniyle karşılanabilmektedir (Brettschneider vd., 2025). Sporcular antrenman sırasında çok fazla efor sarf ederler, bu nedenle besin ihtiyaçları daha yüksektir. Egzersiz, mikro besinlere ihtiyaç duyulan birçok metabolik yolu gerektirir ve antrenman, kaslarda mikro besin ihtiyacını artıran biyokimyasal adaptasyonlara yol açabilir (Tirla vd., 2022). Vitaminler, vücuttaki kimyasal reaksiyonlara yardımcı olan enzim sistemlerinin temel bileşenleri olduğu için hücre zarı bütünlüğü, sinir ve kas fonksiyonu, kemik oluşumu, normal büyüme ve insan vücudunun genel olarak iyi işleyişi için önemlidir (World Health Organization [WHO], 2004). Vitaminlerin biyoyararlanımı besin kaynakları arasında oldukça değişken olmakla birlikte, genel olarak hayvansal gıdalardaki vitaminlerin çoğunun

bitkisel gıdalardaki vitaminlere göre daha yüksek biyoyararlanıma sahip olduğu bulunmuştur (Chungchunlam & Moughan, 2024).

Bir çalışmada, tüm veganların düzenli olarak B12 vitamini takviyesi alması veya B12 vitamini ile zenginleştirilmiş gıdalar tüketmesi gerektiği belirtilmiştir (Koeder & Perez-Cueto, 2024). Diğer bir çalışmada, Parkinson hastalarında hastalık süreci boyunca beslenme durumu ve vitamin düzeylerinin düzenli aralıklarla değerlendirilmesinin önem taşıdığı, özellikle vücut ağırlığında meydana gelen değişimlerin izlenmesiyle birlikte, D vitamini, folat ve B12 vitamini gereksinimi açısından hastaların dikkatle takip edilmesinin önerildiği bildirilmektedir (Chiò vd., 2014).

A vitamini, gebelik döneminde fetal büyüme ve doku gelişiminin desteklenmesi, fetal depoların oluşturulması ve maternal metabolik süreçlerin düzenlenmesi açısından önemli bir role sahiptir. A vitamini, retinoidler ve provitamin karotenoidler olmak üzere iki temel formda bulunur. Retinoidler çoğunlukla hayvansal kaynaklı besinlerden sağlanırken, karotenoidler bitkisel kaynaklı gıdalarda yer almaktadır (McCauley vd., 2015). Vegan bireylerde yetersiz veya dengesiz beslenme ile yüksek posa tüketimine bağlı olarak enerji ve protein dengesinde bozulmalar ortaya çıkabilmekte; ayrıca D vitamini, B12 vitamini, kalsiyum, demir ve çinko gibi bazı vitamin ve minerallerin gereksinim düzeyinde alınamaması riski görülebilmektedir (Gökçen vd., 2019).

Adaptojenler

Adaptojenler, fizyolojik fonksiyonları normalleştirerek vücudun fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikolojik stres faktörlerine karşı spesifik olmayan direncini artıran bitki kaynaklı maddelerdir (Such vd., 2026). Adaptojenlerin düzenli kullanımı, yorgunluğun azalması, bilişsel işlevin iyileşmesi, daha iyi duygusal düzenleme, bağışıklık fonksiyonunun güçlenmesi ve uyku kalitesinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Jahan vd., 2025). Adaptojenler günümüzde ağırlıklı olarak kronik stres, fiziksel performans düşüklüğü ve stresin hastalık gelişiminde önemli rol oynadığı diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve anksiyete bozuklukları gibi durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, bilişsel işlev bozukluklarının eşlik ettiği hastalıklarda da önemli görülmektedir (Todorova vd., 2021).

Doğal adaptojenler, organizmanın farklı stres faktörlerine karşı direncini artırabilen, zengin fitokimyasal içeriğe sahip bitkisel özlerdir.

Adaptojenik etkileri tek bir bileşikten değil, çeşitli biyoaktif maddelerin birlikte oluşturduğu sinerjik etkiden kaynaklanmaktadır. Tarih boyunca hastalık sonrası iyileşme, fiziksel güçsüzlük ve zihinsel performansın desteklenmesi amacıyla kullanılan bu bileşikler, son yıllarda özellikle dayanıklılığı ve fiziksel performansı artırma potansiyelleri nedeniyle profesyonel sporcular arasında da yaygın olarak tercih edilmektedir (Todorova vd., 2021).

Süper Gıdalar

Süper gıdalar, yüksek konsantrasyonlarda temel amino asitler, vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve diğer biyoaktif bileşikler içerdikleri için sağlık yararı sağladığı iddia edilen besin açısından zengin gıdaları tanımlamak için kullanılan bir pazarlama terimidir (Cobos & Diaz, 2023; Santunione & Montevecchi, 2025).

İnsanlar sağlık konusunda daha bilinçli hale geldikçe ve diyetlerini iyileştirmenin, kronik hastalıkları önlemenin doğal yollarını aradıkça, bu terim popülerlik kazanmıştır. Bu gıdalar genellikle doğal, işlenmemiş gıdalardır ve fiziksel/zihinsel sağlığı iyileştirme, hastalık önleme ve genel refahı destekleme potansiyelleriyle bilinirler (Kumar & Ahamed, 2025).

Gıda sürdürülebilirliği, bitki bazlı beslenmeyle yakından ilişkilidir. Süper gıdalar olarak adlandırılan bu besinler, insan sağlığı için son derece faydalı olan makro ve mikro besinler ile biyoaktif bileşiklerden oluşan bir yelpaze sunar. Bu nedenle, bitkisel süper gıdalar, günümüz gıda sisteminin hem sağlık hem de sürdürülebilirlik ile ilgili sorunlarına evrensel bir çözüm olarak kabul edilir (Popova vd., 2024).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority [EFSA], 2011) tarafından önerilen FoodEx sınıflandırma sistemi temel alınarak hazırlanan süper gıda kategorileri aşağıda listelenmiştir (Fernández-Ríos vd., 2022).

Tablo 1. Kategorilere Göre Sınıflandırılmış Süper Gıdalar (Fernández-Ríos vd., 2022)

Meyve ve Meyve Ürünleri	
Goji meyvesi	Mangostan
Acai meyvesi	Jak meyvesi
Aronya	Acerola
Nar	Cape bektaşı üzümü
Avokado	Camu camu
Çarkıfelek meyvesi	Ejderha meyvesi
Böğürtlen	Lucuma
Yaban mersini	Baobab
Kuruyemişler ve Tohumlar	
Chia tohumu	Kenevir tohumu
Keten tohumu	Keçiboynuzu tohumu
Kökler ve Yumrular	
Zencefil	Ginseng
Zerdeçal	Tatlı patates
Maca	Dulavrat otu kökü
Hindiba kökü	Aşvaganda
Otlar, Baharatlar, Çeşniler	
Matcha çayı	Moringa
Sebzeler (mantarlar dahil)	
Kale	Reishi
Tahıllar	
Karabuğday	Kakao
Amaranth	Yulaf
Kinoa	
Diğerleri	
Polen	Spirulina
Klorella	

Bazı süper gıdalar ve özellikleri

Chia tohumu

Chia (*Salvia hispanica*), Lamiaceae familyasına ait yıllık otsu bir türdür. Orta Amerika'ya özgü, tropikal kısa gün bitkisidir (Vârban vd., 2022). ω -3 yağ asitlerinin en zengin botanik kaynaklarından biri olan chia tohumları, insan ve hayvan diyetlerine dahil edilmek üzere balık yağı gibi mevcut ω -3 kaynaklarına sürdürülebilir bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Santos vd., 2020; Ofori-Mensah vd., 2022). Ortalama olarak, chia tohumları %35 karbonhidrat, %31 yağ, %25 protein, %5 su ve %4 inorganik madde içerir (Zare vd., 2024). Günde 15 g chia tohumu

tüketmek, yetişkinler için önerilen günlük temel besin alımının önemli bir bölümünü sağlayabilmektedir (Santana vd., 2020).

Karabuğday, teff, amarant ve chia tohumu gibi yalancı tahıllar, buğday, pirinç ve mısır gibi geleneksel tahıllara kıyasla daha yüksek besinsel değere sahip olmalarıyla öne çıkmaktadır. Bu alternatif tahılların protein ve lipid içeriklerinin daha yüksek olması, bu üstünlüğün temel nedenlerinden biridir. Geleneksel tahıllarda nişasta büyük ölçüde endosperm dokusunda depolanırken, yalancı tahıllarda hem endosperm hem de embriyo dokuları protein ve lipitler açısından zengin bir bileşim sergilemektedir (Bekkering & Tian, 2019). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi Beslenme, Yeni Gıdalar ve Gıda Alerjenleri Paneli, yüksek ω -3 çoklu doymamış yağ asitleri içeriği nedeniyle chia tohumlarının ve yağsız tozunun çok tahıllı ekmek, tahıllar, kurabiyeler, makarna, besleyici barlar ve krakerler gibi çeşitli gıda ürünlerine güvenli bir gıda bileşeni olarak dahil edilmesini değerlendirmiş ve onaylamıştır (Turck vd., 2023).

Kinoa

Kinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*), genellikle yalancı tahıl olarak adlandırılır ve diğer tahıllara göre daha yüksek besin değerine sahiptir. Çeşitli vitaminler, mineraller vb. açısından zengin olup özellikle lizin olmak üzere esansiyel amino asitleri içermektedir (Chavan vd., 2025). Kinoa tanesi yüksek besinsel kaliteye sahiptir ve kinoa bileşimi yaklaşık olarak %10 ila %18 protein, %4,5 ila %7,5 ham yağ, %65 ila %75 karbonhidrat, %1,4 ila %3,8 kül ve %2,1 ila %7 ham lif ihtiva etmektedir (Chavan vd., 2025).

Kinoa, besin değeri yüksek bir yalancı tahıl olup obezite ve metabolik sendromun yönetimindeki potansiyel etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir. Biyoaktif bileşikler bakımından zengin olan kinoa; lipid metabolizmasını düzenleyici, termojenik, mitokondriyal fonksiyonları destekleyici ve antienflamatuvar özellikler gösterebilmektedir (Ray & Das, 2025).

Kinoa, düşük glisemik indeksinin yanı sıra yüksek lif içeriği ve glukoz metabolizmasını etkileyebilen biyoaktif peptitler içermesi nedeniyle glisemik kontrolün iyileştirilmesinde potansiyel faydalar sağlayabilmektedir (Fragoso-Medina vd., 2023). Son çalışmalar, kinoa tüketiminin, faydalı bakteri popülasyonlarını artırarak, bağırsak disbiyozunu azaltarak ve kısa zincirli yağ asidi üretimini iyileştirerek

bağırsak mikrobiyomunu olumlu yönde düzenleyebileceğini öne sürmektedir (Wang vd., 2023; Matías vd., 2024).

Yaban mersini

Antioksidan süper besin olarak kabul edilen yaban mersini, *Vaccinium* cinsine (Ericaceae familyası) ait küçük çalılardan elde edilen bir meyvedir. Meyveler, vitaminler, mineraller ve flavonoidler ile fenolik asitler gibi antioksidanlar açısından zengin bir kaynaktır. Özellikle bol miktarda bulunan antosiyanin pigmentinden kaynaklanan polifenolik bileşiklerden türetilen antioksidatif ve antienflamatuvar aktiviteler, yaban mersininin sağlığa faydalı özelliklerine en büyük katkısı sağlayan faktörler olarak vurgulanmıştır (Krishna vd., 2023). Meyvenin bileşiminde yaklaşık olarak %8,5 oranında karbonhidrat, %0,5 protein ve %0,4 yağ bulunmaktadır. Yaklaşık 100 gramlık bir porsiyon; 44 kkal enerji sağlamasının yanı sıra diyet lifi, A ve C vitaminleri ile potasyum, kalsiyum ve demir gibi mineralleri de içermektedir. Ayrıca, antioksidan bileşikler bakımından zengin olan meyvenin 100 gramında yaklaşık 22 mg C vitamini bulunmaktadır (Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı [TÜRKOMP], 2026).

Meyvelerde bulunan biyoaktif bileşiklerin; *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarla desteklenen güçlü antioksidan, antikanserojen, antitümörjenik, antimikrobiyal, antienflamatuvar ve antinörodejeneratif özellikler gösterdiği bildirilmektedir (Nile & Park, 2014). Yaban mersini polifenoller arasında özellikle flavonoid bileşikleri ön plana çıkmakta; flavonoller alt grubunda ise mirisetin, kuersetin ve kaempferol dikkat çekmektedir. Ayrıca yaban mersini, vanilik, ferulik, kafeik ve klorojenik asit gibi çeşitli fenolik asitlerin yanı sıra stilben türevlerini de içermektedir (Ashique vd., 2024).

Spirulina

Spirulina (*Arthrospira* veya *Limnospira*), Dünya üzerindeki en eski yaşam formlarından biri olarak kabul edilen ve Cyanobacteria filumuna ait fotosentetik mikroorganizmalardır (Schopf, 1993). Ticari ve bilimsel çalışmalarda en yaygın kullanılan türleri *Arthrospira platensis* (eski adıyla *Spirulina platensis*) ve *Arthrospira maxima* (eski adıyla *Spirulina maxima*) olup, bu türler yüksek besin değerleri ve biyolojik aktiviteleri nedeniyle yoğun ilgi görmektedir (Jung vd., 2019). Spirulina kuru ağırlık bazında yaklaşık %60–70 protein, %15–20 karbonhidrat, %5–8 lipit ve %6–8

oranında potasyum, sodyum, kalsiyum, demir, magnezyum ve manganez gibi mineraller içermektedir. Ayrıca klorofil a, zeaksantin ve kantaksantin gibi pigmentlerin yanı sıra B grubu vitaminleri ile C ve E vitaminleri bakımından da zengin bir kaynaktır (Sivakumar vd., 2011; Kumar & Singh, 2019; Sinetova vd., 2024).

Spirulina, yüksek sürdürülebilirliği, zengin protein içeriği, esansiyel amino asit profili ve sağlık üzerinde etkili çeşitli biyoaktif metabolitleri sayesinde oldukça besleyici bir süper gıda olarak kabul edilmektedir (Chaudhary vd., 2026). Ancak, yüksek düzeydeki uçucu bileşikler ve renk pigmentlerinin oluşturduğu kendine özgü tat-koku profili, bazı tüketiciler tarafından olumsuz algılanabilmekte ve bu durum ürünün kullanımını kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle, duyuusal özelliklerin iyileştirilmesi için fermantasyon, deodorasyon, bileşen kombinasyonları ve kapsülleme gibi farklı teknolojik yaklaşımlar uygulanmaktadır (Chaudhary vd., 2026).

Matcha

Matcha, Japonya'nın geleneksel çay seremonilerinde kullanılan ve son yıllarda dünya genelinde popülerlik kazanan özel bir yeşil çay türüdür. Matcha, gölgede yetiştirilen *Camellia sinensis* yapraklarının buharda işlenmesi ve ardından ince bir toz haline öğütülmesiyle elde edilen özel bir yeşil çay türüdür. Yüksek klorofil, amino asit ve çeşitli biyoaktif bileşikler içermesi nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu zengin bileşim, matchaya kendine özgü parlak yeşil rengini, karakteristik aromasını ve yüksek besinsel değerini kazandırmaktadır. Diğer çaylardan farklı olarak yaprakların tamamı tüketildiği için fitokimyasal alımı daha yüksek olmaktadır (Sokary vd., 2023; Pannucci vd., 2025).

Matchanın kimyasal bileşimi yeşil çaya yakındır. Başlıca fenolikler (çoğunlukla kateşinler), alkaloidler (çoğunlukla kafein), amino asitler ve polisakkaritler içerir (Devkota vd., 2021). Matcha %38,5 lif içerirken, matchadan çözünebilir bileşenler ayrıldıktan sonra kalıntıdaki lif içeriği %85,3'e kadar yükselir (Xu vd., 2016).

Bir çalışmada, matcha tüketiminin direnç egzersizi sırasında kas adaptasyonunu destekleyebileceği, egzersize bağlı stres ve yorgunluk yanıtlarını hafifleterek toparlanma sürecine katkı sağlayabileceği, ayrıca matcha tüketimi ile bağırsak mikrobiyotası değişiklikleri arasında olumlu ilişkiler olduğu belirtilmiştir (Shigeta vd., 2023).

Aronya

Aronia melanocarpa, chokeberry (*Rosaceae*), Kuzey Amerika'nın doğu bölgelerine özgüdür ve günümüzde Avrupa'da da yetiştirilmektedir (Gurčík vd., 2023).

Aronia melanocarpa meyveleri, yüksek düzeyde biyoaktif bileşen içermeleri nedeniyle sağlık üzerine olumlu etkileri açısından yaygın olarak değerlendirilmektedir. Özellikle prosiyanidinler, antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler bakımından zengin olmaları, bu meyvelerin güçlü antioksidan özellik göstermesine ve serbest radikallerin etkisini azaltma kapasitesine katkı sağlamaktadır (Cvetanović vd., 2018).

Taze meyve ve meyve suyunun yanı sıra, aronya posasının lif (%55'in üzerinde), şeker (%12-15), C vitamini (90-260 mg/kg) ve mineraller (%2-3) gibi önemli bileşikler açısından zengin olduğu bulunmuştur. Bu yönüyle söz konusu posa tozu, pastacılık ve fırıncılık ürünlerinin formülasyonlarını zenginleştirmede veya nutrasötik endüstrisinde potansiyel bir fonksiyonel bileşen olarak öne çıkmaktadır (Lazăr vd., 2020).

Siyah aronya meyvesi kalp ve damar sistemine fayda sağlamakta, kan basıncını ve mide salgısını düzenlemekte, vücuttan ağır metalleri uzaklaştırmaktadır. Ayrıca, damar sertliği riskini azaltmakta, tiroid fonksiyonunu artırmakta, karaciğer ve sindirim sistemi rahatsızlıklarına karşı koruma sağlamaktadır. Kanser, Parkinson hastalığı ve bronşit gibi uzun süreli rahatsızlıkların tedavisinde yardımcı olmakta, yaşlanma sürecini geciktiren cilt elastikiyetini artırmakta, hafızayı ve görmeyi geliştirmekte, diyabeti önlemekte, migreni hafifletmekte, bağırsakları korumakta ve bağışıklığı güçlendirmektedir (Tolić vd., 2015; Zec vd., 2017; Ren vd., 2022).

Polen

Arı poleni, arıların kovana zarar vermeden toplayabildiği çiçek poleni taneleri, nektar ve arı tükürük salgılarından oluşan bir kovan ürünüdür (El Ghouizi vd., 2023). Arı poleni, besin açısından zengin kimyasal bileşimi ile antioksidan ve antimikrobiyal özellikler gibi önemli biyoaktiviteleri sayesinde süper gıda olarak kabul edilen ve tıbbi uygulamalar dahil birçok alanda kullanılabilen değerli bir doğal gıda ürünüdür (Anjos vd., 2023).

Polen, ortalama %23 protein içermekte olup bu proteinlerin yaklaşık %10'unu metiyonin, lizin, treonin, histidin, lösin, izolösin, valin,

fenilalanin ve triptofan gibi esansiyel amino asitler oluşturmaktadır (Almeida-Muradian vd., 2005). Polen yüklerinde toplam şeker içeriği ortalama %40 düzeyinde olup, bunun %15–24’ünü fruktoz, %11–18’ini glikoz ve %4–9’unu sükroz oluştururken; arabinoz, riboz, izomaltos ve melibiyoz gibi diğer şekerler ise yaklaşık %1 oranında bulunmaktadır (Szczesna vd., 2002). Polen taneleri %1 ile %20 arasında lipit madde içerir (Kostić vd., 2017). Toplam lipitlerin yaklaşık %3’ü serbest yağ asitleridir ve bunların yaklaşık yarısı oleik, linolenik (ω -3) ve linoleik (ω -6) gibi doymamış yağ asitleridir (Barnard, 1975; Campos vd., 2010). Arı poleni, rutin, kuersitrin, izokuersitrin, naringenin, kaempferol ve luteolin gibi flavonoidler içermektedir (Duan vd., 2019).

Arı poleni, içerdiği A, C, E ve B kompleks vitaminleri ile kalsiyum, magnezyum, demir ve çinko gibi mineraller sayesinde çeşitli fizyolojik fonksiyonları destekleyen güçlü bir fonksiyonel gıda ve besin takviyesi olarak öne çıkmaktadır (El Ghouizi vd., 2023). Ayrıca esansiyel amino asitler bakımından zengin olması kas onarımı, doku gelişimi ve metabolik sağlığa katkı sağlamaktadır (Gardana vd., 2018). Bunun yanında, polenin dış zarı olan ekzin tabakası besin maddelerinin biyoyararlanımını sınırlandırabilmekte, ancak fermentasyon, enzimatik hidroliz ve ultrasonik işlem gibi yöntemler ekzinin parçalanmasını sağlayarak besin öğeleri ve fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırmakta, alerjenik bileşikleri azaltmakta, sindirilebilirliği optimize etmekte, protein içeriği ile antioksidan aktiviteyi yükselterek arı polenin besleyici ve biyoaktif özelliklerini geliştirmektedir (Alcalá-Orozco vd., 2024).

Bir çalışmada, Bayburt’tan elde edilen karışık polen örneklerinin yüksek toplam fenolik ve flavonoid içeriği ile güçlü antioksidan aktivite gösterdiği, rutin, kaempferol ve kuersetin gibi fenolik bileşikler ile cis-4,7,10,13,16,19 dokosaheksaenoik asit, cis-11-eikosenoik asit, palmitik asit ve alfa-linolenik asit gibi önemli yağ asitlerince zengin olduğu belirlenmiş ve böylece Bayburt arı polenin doğal antioksidan kaynağı ve potansiyel bir besin takviyesi olarak değerlendirilebileceği ortaya konmuştur (Gerçek vd., 2021).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Fonksiyonel bileşenler ve süper gıdalar, yalnızca temel beslenme gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda insan sağlığını destekleyen biyolojik etkileri nedeniyle günümüzde büyük önem kazanmıştır. Fenolik bileşikler, karotenoidler, alkaloidler, glukozinolatlar, fitosteroller, biyoaktif peptitler, probiyotikler, prebiyotikler, yağ asitleri, vitaminler ve adaptojenler gibi fonksiyonel bileşenler; antioksidan, antienflamatuar, antimikrobiyal, kardiyoprotektif ve immünomodülatör etkileri sayesinde birçok kronik hastalığın önlenmesi ve yönetiminde önemli potansiyel göstermektedir. Son yıllarda tüketicilerin sağlıklı yaşam, doğal beslenme ve sürdürülebilir gıda sistemlerine yönelik artan ilgisi, süper gıdalara olan talebi de önemli ölçüde artırmıştır. Süper gıdalar, yüksek besin değerleri, zengin biyoaktif bileşen içerikleri ve sağlık üzerine olumlu etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, bu ürünlere ilişkin sağlık iddialarının bilimsel verilerle desteklenmesi, biyoyararlanım ve etki mekanizmalarının daha ayrıntılı araştırılması ve güvenilir tüketim standartlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle fonksiyonel bileşenler ve süper gıdalar üzerine yapılacak multidisipliner çalışmaların artırılması hem halk sağlığının geliştirilmesi hem de sürdürülebilir beslenme yaklaşımlarının desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Agyei, D., & Danquah, M. K. (2011). Industrial-scale manufacturing of pharmaceutical-grade bioactive peptides. *biotechnology advances*, 29(3), 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.001>
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2021). Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & function*, 12(1), 14-29. <https://doi.org/10.1039/D0FO002324H>
- Alcalá-Orozco, M., Lobo-Farfan, I., Tirado, D. F., & Mantilla-Escalante, D. C. (2024). Enhancing the nutritional and bioactive properties of bee pollen: A comprehensive review of processing techniques. *Foods*, 13(21), 3437. <https://doi.org/10.3390/foods13213437>
- Almeida-Muradian, L. B. D., Pamplona, L. C., Coimbra, S., & Barth, O. M. (2005). Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. *Journal of food composition and analysis*, 18(1), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.10.008>
- Aniszewski, T. (2007). Alkaloids-secrets of life: Aklaloid chemistry, biological significance, applications and ecological role. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112964>
- Anjos, O., Seixas, N., Antunes, C. A., Campos, M. G., Paula, V., & Estevinho, L. M. (2023). Quality of bee pollen submitted to drying, pasteurization, and high-pressure processing—a comparative approach. *Food Research International*, 170, 112964. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112964>
- Arumugam, T., Sona, C. L., & Maheswari, M. U. (2021). Fruits And Vegetables As Superfoods: Scope And Demand. *J. Pharm. Innov*, 10, 119-129.
- Aruoma, O. I. (1998). Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of the American oil chemists' society*, 75(2), 199-212. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0032-9>
- Ashique, S., Mukherjee, T., Mohanty, S., Garg, A., Mishra, N., Kaushik, M., Bhowmick M., Chattaraj B., Mohanto S., Srivastava S., & Taghizadeh-Hesary, F. (2024). Blueberries in focus: exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101300>
- Ashrafi, S., Alam, S., Sultana, A., Raj, A., Emon, N. U., Richi, F. T., Sharmin T., Moon M., Park M.N., & Kim, B. (2023). Papaverine: A Miraculous Alkaloid From Opium And Its Multimedical Application. *Molecules*, 28(7), 3149. <https://doi.org/10.3390/molecules28073149>
- Baldelli, S., Lombardo, M., D'Amato, A., Karav, S., Tripodi, G., & Aiello, G. (2025). Glucosinolates in human health: metabolic pathways, bioavailability, and potential in chronic disease prevention. *Foods*, 14(6), 912. <https://doi.org/10.3390/foods14060912>
- Barnard, P. D. W. (1975). Pollen: Biology Biochemistry Management. *Phytochemistry*, 14(11), 2535-2536. [https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1975PCChem..14.2535B/doi:10.1016/0031-9422\(75\)80401-8](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1975PCChem..14.2535B/doi:10.1016/0031-9422(75)80401-8)
- Beckman, C. H. (2000). Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants?. *Physiological and molecular plant pathology*, 57(3), 101-110. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2000.0287>
- Bekkering, C. S., & Tian, L. (2019). Thinking outside of the cereal box: breeding underutilized (pseudo) cereals for improved human nutrition. *Frontiers in Genetics*, 10, 1289. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01289>

- Beyer, J., Drummer, O. H., & Maurer, H. H. (2009). Analysis of toxic alkaloids in body samples. *Forensic Science International*, 185(1-3), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.12.006>
- Bleakley, S., Hayes, M., O'Shea, N., Gallagher, E., & Lafarga, T. (2017). Predicted release and analysis of novel ace-i, renin, and dpp-iv inhibitory peptides from common oat (*avena sativa*) protein hydrolysates using in silico analysis. *Foods*, 6(12), 108. <https://doi.org/10.3390/foods6120108>
- Brettschneider, A. K., Schlune, A., Spiegler, C., Burgard, L., & Ensenaue, R. (2025). Importance and supply of micronutrients in infants, children and adolescents. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 68(11), 1244. <https://doi.org/10.1007/s00103-025-04129-y>
- Campos, M. G. R., Frigerio, C., Lopes, J., & Bogdanov, S. (2010). What is the future of bee-pollen. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 2(4), 131-144. <http://doi.org/10.3896/IBRA.4.02.4.01>
- Cao, X., Liao, W., & Wang, S. (2022). Food protein-derived bioactive peptides for the management of nutrition related chronic diseases. In *Advances In Food And Nutrition Research* (Vol. 101, pp. 277-307). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.004>
- Chaudhary, S., Singh, R., Mishra, S., & Talwar, B. (2026). Spirulina: a superfood—nutritional insights, advancement in food applications and mitigation strategies for enhanced palatability. *Discover Food*. <https://doi.org/10.1007/s44187-026-00898-w>
- Chavan, S. M., Khadatkar, A., Hasan, M., Ahmad, D., Kumar, V., & Jain, N. K. (2025). Quinoa (*chenopodium quinoa* willd.): paving the way towards nutraceuticals and value-added products for sustainable development and nutritional security. *Applied Food Research*, 5(1), 100673. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100673>
- Chiò, A., Calvo, A., Bovio, G., Canosa, A., Bertuzzo, D., Galmozzi, F., Cugnasco P., Clerico M., De Mercanti, S., Bersano, E., Cammarosano, S., Ilardi, A., Manera, U., Moglia, C., Sideri, R., Marinou, K., Bottacchi, E., Pisano, F., Cantello, R., Mazzini, L., & Mora, G. (2014). Amyotrophic lateral sclerosis outcome measures and the role of albumin and creatinine: a population-based study. *JAMA neurology*, 71(9), 1134-1142. <http://doi.org/10.1001/jamaneurol.2014.1129>
- Chourasia, R., Chiring Phukon, L., Abedin, M. M., Padhi, S., Singh, S. P., & Rai, A. K. (2023). Bioactive peptides in fermented foods and their application: a critical review. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 3(1), 88-109. <https://doi.org/10.1007/s43393-022-00125-4>
- Chungchunlam, S. M., & Moughan, P. J. (2024). Comparative bioavailability of vitamins in human foods sourced from animals and plants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(31), 11590-11625. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2241541>
- Cobos, Á., & Díaz, O. (2023). 'Superfoods': Reliability of the information for consumers available on the web. *Foods*, 12(3), 546. <https://doi.org/10.3390/foods12030546>
- Connolly, E. L., Liu, A. H., Radavelli-Bagatini, S., Shafaei, A., Boyce, M. C., Wood, L. G., McCahon, L., Koch, H., Sim, M., Hill, C.R., Parmenter, B.H., Bondonno, N.P., Devine, A., Croft, K.D., Mithen, R., Gan, S.K., Schultz, C.J., Woodman, R.J., Bondonno, C.P., Lewis, J.R., Hodgson, J.M., & Blekkenhorst, L. C. (2024). Cruciferous vegetables lower blood pressure in adults with mildly elevated blood pressure in a randomized, controlled, crossover trial: the vegetables for vascular health (vessel) study. *BMC medicine*, 22(1), 353. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03577-8>
- Cvetanović, A., Zengin, G., Zeković, Z., Švarc-Gajić, J., Ražić, S., Damjanović, A., Mašković, P., & Mitić, M. (2018). Comparative in vitro studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries aronia melanocarpa's extracts obtained by

- subcritical water extraction. *Food and Chemical Toxicology*, 121, 458-466. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.045>
- de Melo Ribeiro, P. V., Andrade, P. A., Hermsdorff, H. H. M., Dos Santos, C. A., Cotta, R. M. M., Estanislau, J. D. A. S. G., Campos, A.A.O., & Rosa, C. D. O. B. (2019). Dietary non-nutrients in the prevention of non-communicable diseases: potentially related mechanisms. *Nutrition*, 66, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.03.016>
- Depoorter, L., & Vandenplas, Y. (2021). Probiotics in pediatrics. a review and practical guide. *Nutrients*, 13(7), 2176. <https://doi.org/10.3390/nu13072176>
- Devkota, H. P., Gaire, B. P., Hori, K., Subedi, L., Adhikari-Devkota, A., Belwal, T., Paudel, K.R., Jha, N.K., Singh, S.K., Chellappan, D.K., Hansbro, P.M., Dua, K., & Kurauchi, Y. (2021). The science of matcha: bioactive compounds, analytical techniques and biological properties. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 735-743. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.021>
- Duan, H., Dong, Z., Li, H., Li, W. R., Shi, S. X., Wang, Q., Cao, W., Fang, X., Fang, A., & Zhai, K. F. (2019). Quality evaluation of bee pollens by chromatographic fingerprint and simultaneous determination of its major bioactive components. *Food and Chemical Toxicology*, 134, 110831. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110831>
- El Ghouizi, A., Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaid, D., El Menyiy, N., Hano, C., & Lyoussi, B. (2023). Bee pollen as functional food: insights into its composition and therapeutic properties. *Antioxidants*, 12(3), 557. <https://doi.org/10.3390/antiox12030557>
- Eseberri, I., Trepiana, J., Léniz, A., Gómez-García, I., Carr-Ugarte, H., González, M., & Portillo, M. P. (2022). Variability in the beneficial effects of phenolic compounds: a review. *Nutrients*, 14(9), 1925. <https://doi.org/10.3390/nu14091925>
- European Food Safety Authority. (2011). Evaluation of the foodex, the food classification system applied to the development of the efsa comprehensive european food consumption database. *EFSA Journal*, 9(3), 1970. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1970>
- Fernández-Ríos, A., Laso, J., Aldaco, R., & Margallo, M. (2023). Superfoods: a super impact on health and the environment?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 31, 100410. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100410>
- Fernández-Ríos, A., Laso, J., Hoehn, D., Amo-Setién, F. J., Abajas-Bustillo, R., Ortego, C., Fullana-i-Palmer P., Bala A., Batlle-Bayer L., Balcells M., Puig R., Aldaco R., Margallo, M. (2022). A critical review of superfoods from a holistic nutritional and environmental approach. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134491>
- Filiz Demir, S., (2023). Sporcuların beslenmesinde yağ alımının önemi. *Türkiye Klinikleri Nutrition and Dietetics-Special Topics*, 9(2), 72-76.
- Fragoso-Medina, J. A., López Vaquera, S. R., Domínguez-Uscanga, A., Luna-Vital, D., & García, N. (2023). Single anthocyanins effectiveness modulating inflammation markers in obesity: Dosage and matrix composition analysis. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1255518. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1255518>
- Francioso, A., Baseggio Conrado, A., Mosca, L., & Fontana, M. (2020). Chemistry and biochemistry of sulfur natural compounds: key intermediates of metabolism and redox biology. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020(1), 8294158. <https://doi.org/10.1155/2020/8294158>
- Gardana, C., Del Bo, C., Quicazán, M. C., Corraa, A. R., & Simonetti, P. (2018). Nutrients, phytochemicals and botanical origin of commercial bee pollen from different geographical areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.07.009>

- Kerry, R. G., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018). Benefaction of probiotics for human health: a review. *Journal of food and drug analysis*, 26(3), 927-939. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002>
- Gercek, Y. C., Celik, S., & Bayram, S. (2021). Screening of plant pollen sources, polyphenolic compounds, fatty acids and antioxidant/antimicrobial activity from bee pollen. *Molecules*, 27(1), 117. <https://doi.org/10.3390/molecules27010117>
- Ghanbari, R. (2019). Review on the bioactive peptides from marine sources: indication for health effects. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 25(3), 1187-1199. <https://doi.org/10.1007/s10989-018-9766-x>
- Gibson, G. R., Scott, K. P., Rastall, R. A., Tuohy, K. M., Hotchkiss, A., Dubert-Ferrandon, A., Gareau, M., Murphy, E.F., Saulnier, D., Loh, G., Macfarlane, S., Delzenne, N., Ringel, Y., Kozianowski, G., Dickmann, R., Lenoir-Wijnkoop, I., Walker, C., & Buddington, R. (2010). Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Science & Technology Bulletin: Functional Foods*, 7(1), 1-19. doi: 10.1616/1476-2137.15880.
- Goldin, B. R., & Gorbach, S. L. (2008). Clinical indications for probiotics: an overview. *Clinical infectious diseases*, 46(Supplement_2), S96-S100. <https://doi.org/10.1086/523333>
- González-Peña, M. A., Ortega-Regules, A. E., Anaya de Parrodi, C., & Lozada-Ramírez, J. D. (2023). Chemistry, occurrence, properties, applications, and encapsulation of carotenoids—a review. *Plants*, 12(2), 313. <https://doi.org/10.3390/plants12020313>
- Gökçen, M., Aksoy, Y. Ç., & Özcan, B. A. (2019). Vegan beslenme tarzına genel bakış. *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 50-54. <https://doi.org/10.33308/2687248X.201912152>
- Grazioli, E., Cerulli, C., Murri, A., Mauri, C., & Parisi, A. (2024). Effect of prebiotics, probiotics and symbiotics on gut microbiota in sedentary subjects and athletes: narrative review. *Medicina dello Sport*. <https://hdl.handle.net/20.500.14244/9681>
- Guerrero-Legarreta, I., López-Hernández, E., Armenta-López, R. E., & García Barrientos, R. (2013). Pigmentos. *Química de Alimentos*; Badui-Dergal, S. Ed.; Pearson: Mexico City, Mexico, p. 379. <https://doi.org/10.3390/plants12020313>
- Gupta, E., & Mishra, P. (2021). Functional food with some health benefits, so called superfood: a review. *Current Nutrition & Food Science*, 17(2), 144-166. <https://doi.org/10.2174/1573401316999200717171048>
- Gurčík, L., Bajusová, Z., Ladvenicová, J., Palkovič, J., & Novotná, K. (2023). Cultivation and processing of modern superfood—Aronia melanocarpa (Black Chokeberry) in Slovak Republic. *Agriculture*, 13(3), 604. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030604>
- Hajfathalian, M., Ghelichi, S., García-Moreno, P. J., Moltke Sørensen, A. D., & Jacobsen, C. (2018). Peptides: Production, bioactivity, functionality, and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(18), 3097-3129. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1352564>
- Hill, C. R., Shafaei, A., Balmer, L., Lewis, J. R., Hodgson, J. M., Millar, A. H., & Blekkenhorst, L. C. (2023). Sulfur compounds: from plants to humans and their role in chronic disease prevention. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(27), 8616-8638. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2057915>
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Berni Canani, R., Flint, H.J., Salminen, S., Calder, P.C., & Sanders, M. E. (2014). The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 11(8), 506-514. <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Howitt, C. A., & Pogson, B. J. (2006). Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. *plant, cell & environment*, 29(3), 435-445. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01492.x>

- Jahan, F. M., Razavi, S. H., Nouri, M., Shafiepour, M., & Afraei, M. (2025). Unlocking nature's potential: the power of adaptogens in enhancing modern health and wellness. *Journal of Agriculture and Food Research*, 102501. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102501>
- Jelliffe, D. B. (1997). The assessment of the nutritional status of the community. *Nutrition*, 13(7-8), 714-714.
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. (2019). Spirulina platensis, a super food?. *Journal of Cellular Biotechnology*, 5(1), 43-54. <https://doi.org/10.3233/JCB-189012>
- Kaushik, B., Sharma, J., Kumar, P., & Shourie, A. (2021). Phytochemical properties and pharmacological role of plants: secondary metabolites. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 18(1), 23. <https://www.proquest.com/openview/cbb30c671eb6059ca4ca22a82f5dc316/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2050642-~:text=DOI%3A10.13005/bbra/2894>
- Kim, C. H. (2026). Short-, medium-, versus long-chain fatty acids: mechanisms of immunomodulation and disease pathogenesis. *Cellular & Molecular Immunology*, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41423-026-01412-z>
- Koeder, C., & Perez-Cueto, F. J. (2024). Vegan nutrition: a preliminary guide for health professionals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(3), 670-707. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2107997>
- Kostić, A. Ž., Pešić, M. B., Trbović, D., Petronijević, R., Dramićanin, A. M., Milojković-Opšenica, D. M., & Tešić, Ž. L. (2017). The Fatty acid profile of serbian bee-collected pollen—a chemotaxonomic and nutritional approach. *Journal of apicultural research*, 56(5), 533-542. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1356206>
- Krishna, P., Pandey, G., Thomas, R., & Parks, S. (2023). Improving blueberry fruit nutritional quality through physiological and genetic interventions: a review of current research and future directions. *Antioxidants*, 12(4), 810. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>
- Kumar, A., & Singh, A. P. (2019, March). Design of bulk micro-machined patch antenna arrays for earth exploration satellite services. In 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (pp. 722-727). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SPIN.2019.8711714>
- Kumar, R. N., & Ahamed, H. N. (2025). Superfoods and their impact on brain health: a systematic review. *Discover Food*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00267-5>
- Kurek, J. (Ed.). (2019). *Alkaloids: their importance in nature and human life*. BoD–Books on Demand.
- Lagouri, V. (2019). Introductory Chapter: Functional Foods. V. Lagouri (Ed.), *Functional Foods*. (3-6). Londra: IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73983>
- Lazăr, M.-A., Catană, M., Catană, L., Burnete, A.-G., Teodorescu, R. I., Asănică, A. C. ve Belc, N. (2020). Valorisation of Aronia Melanocarpa Pomace For Development of Functional Ingredients With High Nutritional Value And Antioxidant Capacity. Scientific Papers. Series B, Horticulture, LXIV(2), 403-410.
- Letchuman, S., Madhuranga, H. D. T., Madhurangi, B. L. N. K., Premarathna, A. D., & Saravanan, M. (2024). Alkaloids unveiled: a comprehensive analysis of novel therapeutic properties, mechanisms, and plant-based innovations. *Intelligent Pharmacy*. <https://doi.org/10.1016/j.ipha.2024.09.007>
- Li, X., Xin, Y., Mo, Y., Marozik, P., He, T., & Guo, H. (2022). The bioavailability and biological activities of phytosterols as modulators of cholesterol metabolism. *Molecules*, 27(2), 523. <https://doi.org/10.3390/molecules27020523>
- Lin, H., Li, S., Zhang, J., Lin, S., Tan, B. K., & Hu, J. (2021). Functional food ingredients for control of gestational diabetes mellitus: a review. *Food Science and Technology*, 42, e03621. <https://doi.org/10.1590/fst.03621>
- Manchali, S., Murthy, K. N. C., & Patil, B. S. (2012). Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables. *Journal of functional foods*, 4(1), 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.004>

- Marcia-Fuentes, J. A., Aleman, R. S., Areche, F. O., Flores, D. C., Roman, A. V., Martín-Vertedor, D., & Montero-Fernández, I. (2025). Functional foods: a review of foods ingredient and their health benefits. *Food and Humanity*, 100953. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100953>
- Marcinkowska, M. A., & Jeleń, H. H. (2022). Role of sulfur compounds in vegetable and mushroom aroma. *Molecules*, 27(18), 6116. <https://doi.org/10.3390/molecules27186116>
- Martindale, R. G., Evans, D. C., Waitzberg, D., Warren, M., Mundi, M. S., Klek, S., Wischmeyer, P.E., & Rosenthal, M. D. (2025). Parenteral nutritional support in surgical patients: expert consensus statements regarding intravenous lipid emulsions containing omega-3 fatty acids. *Frontiers in nutrition*, 12, 1546089. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1546089>
- Matías, J., Rodríguez, M. J., Carrillo-Vico, A., Casals, J., Fondevilla, S., Haros, C. M., Pedroche, J., Aparicio, N., Fernández-García, N., Aguiló-Aguayo, I., Soler-Rivas, C., Caballero, P.A., Morte, A., Rico, D., & Reguera, M. (2024). From ‘farm to fork’: exploring the potential of nutrient-rich and stress-resilient emergent crops for sustainable and healthy food in the mediterranean region in the face of climate change challenges. *Plants*, 13(14), 1914. <https://doi.org/10.3390/plants13141914>
- McCauley, M. E., van den Broek, N., Dou, L., & Othman, M. (2015). Vitamin A supplementation during pregnancy for maternal and newborn outcomes. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (10). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008666.pub3>
- Montoya-Williams, D., Lemas, D. J., Spiryda, L., Patel, K., Carney, O. N. O., Neu, J., & Carson, T. L. (2018). The neonatal microbiome and its partial role in mediating the association between birth by cesarean section and adverse pediatric outcomes. *Neonatology*, 114(2), 103-111. <https://doi.org/10.1159/000487102>
- Nattagh-EshTVani, E., Barghchi, H., Pahlavani, N., Barati, M., Amiri, Y., Fadel, A., Khosravi, M., Talebi, S., Arzhang, P., Ziaei, R., & Ghavami, A. (2022). Biological and pharmacological effects and nutritional impact of phytosterols: a comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 36(1), 299-322. <https://doi.org/10.1002/ptr.7312>
- Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Edible berries: bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30(2), 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>
- Nwachukwu, I. D., & Aluko, R. E. (2021). Food protein structures, functionality and product development. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Ofori-Mensah, S., Yıldız, M., Arslan, M., Ünal Şengör, G. F., Kahraman, T., Gelibolu, S., & Kaplan, Ç. (2022). Replacement of fish oil by ala-rich vegetable oils in diets of gilthead sea bream: effect on final eating quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(5), 2100251. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202100251>
- Oliveira Filho, J. G., & Egea, M. B. (2022). Edible bioactive film with curcumin: a potential “functional” packaging? *International Journal of Molecular Sciences*, 23(10), 5638. <https://doi.org/10.3390/ijms23105638>
- Pannucci, E., Della Posta, S., Sbrocca, I., Cimini, S., Fanali, C., De Gara, L., & Santi, L. (2025). Evaluation of the antglycative and antioxidant activities of matcha tea. *Natural Product Research*, 39(22), 6473-6482. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2375758>
- Pereira, A. G., Cassani, L., Garcia-Oliveira, P., Otero, P., Mansoor, S., Echave, J., Xiao, J., Simal-Gándara, J., & Prieto, M. A. (2023). *Plant alkaloids: production, extraction, and potential therapeutic properties. in natural secondary metabolites: from nature, through science, to industry* (pp. 157-200). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18587-8_6
- Perera, C. O., & Yen, G. M. (2007). Functional properties of carotenoids in human health. *International Journal of Food Properties*, 10(2), 201-230. <https://doi.org/10.1080/10942910601045271>

- Petrof, E. O. (2009). *Probiotics and gastrointestinal disease: clinical evidence and basic science*. Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Inflammatory and Anti-Allergy Agents), 8(3), 260-269. <https://doi.org/10.2174/187152309789151977>
- Popova, A., Mihaylova, D., & Fikiin, K. (2024). Promoting plant-based “superfoods”—a delicate balance between health benefits and sustainability challenges. *Food and Bioprocess Technology*, 17(5), 1383-1390. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03303-x>
- Ramírez-Gómez, X. S., Jiménez-García, S. N., Campos, V. B., & Campos, M. L. G. (2019). *Plant metabolites in plant defense against pathogens*. in plant diseases-current threats and management trends. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/chapters/68107> - :~:text=DOI%3A 10.5772/intechopen.87958
- Ramprasath, V. R., & Awad, A. B. (2015). Role of phytosterols in cancer prevention and treatment. *Journal of AOAC International*, 98(3), 735-738. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.SGERamprasath>
- Rau, S., Gregg, A., Yaceczko, S., & Limketkai, B. (2024). Prebiotics and probiotics for gastrointestinal disorders. *Nutrients*, 16(6), 778. <https://doi.org/10.3390/nu16060778>
- Ray, A., & Das, M. (2025). Modulatory implications of quinoa in therapeutic management of obesity and metabolic syndrome. *Food Bioscience*, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107305>
- Ren, Y., Frank, T., Meyer, G., Lei, J., Grebenc, J. R., Slaughter, R., & Kinghorn, A. D. (2022). Potential benefits of black chokeberry (aronia melanocarpa) fruits and their constituents in improving human health. *Molecules*, 27(22), 7823. <https://doi.org/10.3390/molecules27227823>
- Riaz, M., Khalid, R., Afzal, M., Anjum, F., Fatima, H., Zia, S., Rasool, G., Egbuna, C., Mtewa, A.G., Uche, C.Z., & Aslam, M. A. (2023). Phytobioactive compounds as therapeutic agents for human diseases: a review. *Food science & nutrition*, 11(6), 2500-2529. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3308>
- Sánchez, A., & Vázquez, A. (2017). Bioactive peptides: a review. *Food quality and safety*, 1(1), 29-46. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx006>
- Rivero-Montejo, S. D. J., Vargas-Hernandez, M., & Torres-Pacheco, I. (2021). Nanoparticles as novel elicitors to improve bioactive compounds in plants. *Agriculture*, 11(2), 134. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020134>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T., & Moreno-Rojas, J. M. (2021). Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: an overview. *Foods*, 10(4), 839. <https://doi.org/10.3390/foods10040839>
- Santana, F. B., Souza, L. A., Carvalho, W. C., Korn, M. G. A., & Santos, D. C. (2020). Determination and in vitro bioaccessibility evaluation of cu, fe, mn, and zn in chia (salvia hispanica L.) seeds by icp oes. *Food Analytical Methods*, 13(1), 176-185. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01564-x>
- Santos, H. O., Price, J. C., & Bueno, A. A. (2020). Beyond fish oil supplementation: the effects of alternative plant sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids upon lipid indexes and cardiometabolic biomarkers—an overview. *Nutrients*, 12(10), 3159. <https://doi.org/10.3390/nu12103159>
- Santunione, G., & Montevecchi, G. (2025). Superfoods: exploring sustainability perspectives between nutrient synthesizers and accumulators. *Frontiers in Food Science and Technology*, 5, 1507933. <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1507933>
- Schopf, J. W. (1993). Microfossils of the early archean apex chert: new evidence of the antiquity of life. *Science*, 260(5108), 640-646. <https://doi.org/10.1126/science.260.5108.640>
- Serhan, C. N., Bäck, M., Chiurciu, V., Hersberger, M., Mittendorfer, B., Calder, P. C., Waitzberg, D.L., Stoppe, C., Klek, S., Martindale, R.G., & Wischmeyer, P. (2024). Expert

- consensus report on lipid mediators: role in resolution of inflammation and muscle preservation. *The FASEB Journal*, 38(10). <https://doi.org/10.1096/fj.202400619R>
- Shahbandeh, M. (2022). Global market value of superfoods. 2021. 2027. <https://www.statista.com/statistics/1078437/superfoods-market-value-worldwide>, (E.T.:02.06.2026).
- Shigeta, M., Aoi, W., Morita, C., Soga, K., Inoue, R., Fukushima, Y., Kobayashi, Y., & Kuwahata, M. (2023). Matcha green tea beverage moderates fatigue and supports resistance training-induced adaptation. *Nutrition journal*, 22(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12937-023-00859-4>
- Shimizu, T. (2003). Health claims on functional foods: the japanese regulations and an international comparison. *Nutrition research reviews*, 16(2), 241-252. <https://doi.org/10.1079/NRR200363>
- Sinetova, M. A., Kupriyanova, E. V., & Los, D. A. (2024). Spirulina/arthrospira/limnospira—three names of the single organism. *Foods*, 13(17), 2762. <https://doi.org/10.3390/foods13172762>
- Sivakumar, B., Kumar, S., & Narayanan, T. S. (2011). Comparison of fretting corrosion behaviour of ti–6al–4v alloy and cp-ti in ringer's solution. *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 5(4), 158-164. <https://doi.org/10.1179/1751584X11Y.0000000020>
- Sokary, S., Al-Asmakh, M., Zakaria, Z., & Bawadi, H. (2023). The therapeutic potential of matcha tea: a critical review on human and animal studies. *Current research in food science*, 6, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.015>
- Sokei, J., Kanefsky, J., & Sykes, S. M. (2025). Reprogramming of fatty acid metabolism in acute leukemia. *Journal of Cellular Physiology*, 240(1), e70000. <https://doi.org/10.1002/jcp.70000>
- Sonawane, A., Pathak, S., & Pradhan, R. C. (2020). Bioactive compounds in bael fruit pulp waste: ultrasound-assisted extraction, characterization, modeling, and optimization approaches. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 11, 9318-9334. <https://doi.org/10.33263/BRIAC112.93189334>
- Spencer, J. P., Abd El Mohsen, M. M., Minihaue, A. M., & Mathers, J. C. (2008). Biomarkers of the intake of dietary polyphenols: strengths, limitations and application in nutrition research. *British Journal of Nutrition*, 99(1), 12-22. <https://doi.org/10.1017/S0007114507798938>
- Srinivasan, K. (2016). Biological activities of red pepper (capsicum annum) and its pungent principle capsaicin: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(9), 1488-1500. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772090>
- Such, S., Puchalski, C., Kogut, Ł., & Zagula, G. (2026). System-level, molecular and cellular mechanisms of selected plant adaptogens—a review. *Nutrients*, 18(6), 931. <https://doi.org/10.3390/nu18060931>
- Sun, Z., Sun, X., Li, J., Li, Z., Hu, Q., Li, L., Hao, X.Q., Song, M.P., & Li, C. (2020). Using Probiotics For Type 2 Diabetes Mellitus Intervention: Advances, Questions, And Potential. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(4), 670-683.
- Szczesna, T., Rybak-Chmielewska, H., & Chmielewski, W. (2002). Sugar Composition Of Pollen Loads Harvested At Different Periods Of The Beekeeping Season. *Journal of Apicultural Science*, 46(2).
- Tirla, A., Islam, F., Islam, M. R., Ioana Vicas, S., & Cavalu, S. (2022). New insight and future perspectives on nutraceuticals for improving sports performance of combat players: focus on natural supplements, importance and advantages over synthetic ones. *Applied Sciences*, 12(17), 8611. <https://doi.org/10.3390/app12178611>
- Todorova, V., Ivanov, K., Delattre, C., Nalbantova, V., Karcheva-Bahchevanska, D., & Ivanova, S. (2021). Plant adaptogens—history and future perspectives. *Nutrients*, 13(8), 2861. <https://doi.org/10.3390/nu13082861>

- Tolić, M. T., Landeka Jurčević, I., Panjkota Krbavčić, I., Marković, K., & Vahčić, N. (2015). Phenolic content, antioxidant capacity and quality of chokeberry (*aronia melanocarpa*) products. *Food technology and biotechnology*, 53(2), 171-179. <https://doi.org/10.17113/ftb.53.02.15.3833>
- Tomé-Castro, X. M., Rodríguez-Arrastia, M., Cardona, D., Rueda-Ruzafa, L., Molina-Torres, G., & Roman, P. (2021). Probiotics As A Therapeutic Strategy in Obesity And Overweight: A Systematic Review. *Beneficial microbes*, 12(1), 5-16.
- Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H.J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsbouri, S., Vinceti, M., Aguilera-Gómez, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., Neuhäuser-Berthold, M., Poulsen, M., Prieto Maradona, M., Schlatter, J.R., van Loveren, H., Gelbmann, W., Gerazova-Efremova, K., Roldán-Torres, R., & Knutsen, H. K. (2023). Safety Of The Extension Of Use Of Partially Defatted Chia Seed (*Salvia Hispanica* L.) Powder With A High Fibre Content As A Novel Food Pursuant To Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 21(4), e07904.
- TÜRKOMP, Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı. 2026. "Yaban mersini (mavi yemiş)". <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/food-yaban-mersini-mavi-yemis-394>. (E.T.:05.06.2026).
- Vârban, R., Crişan, I., Vârban, D., Mureşan, C., Gheţe, A., Stoie, A., & Ona, A. (2022). Cultivation potential of chia (*Salvia hispanica* L.) in Cluj county. Scientific Papers. Series A. *Agronomy*, 65(1).
- von Hanstein, A. S., Tsikas, D., Lenzen, S., Jörns, A., & Plötz, T. (2023). Potentiation of lipotoxicity in human endoc-βh1 β-cells by glucose is dependent on the structure of free fatty acids. *Molecular Nutrition & Food Research*, 67(5), 2200582. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200582>
- Waehler, R. (2021). Fatty acids: facts vs. fiction. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000713>
- Wang, W., Yang, W., Dai, Y., Liu, J., & Chen, Z. Y. (2023). Production of food-derived bioactive peptides with potential application in the management of diabetes and obesity: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(15), 5917-5943. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08835>
- Weder, S., Müller, S., Dawczynski, C., & Keller, M. (2025). Arachidonic acid as a potentially critical nutrient for vegetarians and vegans–position paper of the research institute for plant-based nutrition (tfpe). *Lipids in Health and Disease*, 24(1), 244. <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02645-z>
- WHO. 2004. Mineral Requirements in Human Nutrition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Geneva, Switzerland.
- Xu, P., Ying, L., Hong, G., & Wang, Y. (2016). The effects of the aqueous extract and residue of matcha on the antioxidant status and lipid and glucose levels in mice fed a high-fat diet. *Food & function*, 7(1), 294-300. <https://doi.org/10.1039/C5FO00828J>
- Yadav, M. K., Kumari, I., Singh, B., Sharma, K. K., & Tiwari, S. K. (2022). Probiotics, prebiotics and synbiotics: safe options for next-generation therapeutics. *Applied microbiology and biotechnology*, 106(2), 505-521. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11646-8>
- Yang, N., Guo, J., Zhang, J., Gao, S., Xiang, Q., Wen, J., Huang, Y., Rao, C., & Chen, Y. (2024). A toxicological review of alkaloids. *Drug and chemical toxicology*, 47(6), 1267-1281. <https://doi.org/10.1080/01480545.2024.2326051>
- Younas, R., Sahar, A., Sameen, A., Khan, M. I., Ali, M. A., Tahir, M. A., Mohsin, M., Usman, M., & Aadil, R. M. (2024). A narrative review on extraction techniques of phytosterols and their applications In Food Industry. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(24), 30897-30911. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-05007-w>

- Zare, T., Fournier-Level, A., Ebert, B., & Roessner, U. (2024). Chia (*salvia hispanica* L.), a functional 'superfood': new insights into its botanical, genetic and nutraceutical characteristics. *Annals of Botany*, 134(5), 725-746. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae123>
- Zec, M., Martačić, J. D., Ranković, S., Pokimica, B., Tomić, M., Ignjatović, Đ., Glibetić, M., & Popović, T. (2017). Effects of aronia melanocarpa juice on plasma and liver phospholipid fatty acid composition in wistar rats. *Acta Veterinaria*, 67(1), 107-120. <https://doi.org/10.1515/acve-2017-0010>
- Zhou, J., Wang, M., Pallarés, N., Ferrer, E., Berrada, H., & Barba, F. J. (2022). Sterols And Fat-Soluble Vitamins. *Food Lipids*, 323-34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823371-9.00017-4>

HASSAS (PRECISION) BESLENME: NUTRİGENETİK, NUTRİGENOMİK VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ YAKLAŞIMLAR

Sema Nur Yıldırım*, Enes Dertli**

GİRİŞ

Beslenme, temel yaşamsal fonksiyonların sürdürülmesinin yanı sıra, kronik hastalıkların önlenmesi, sağlıklı yaşlanma sürecinin desteklenmesi ve genel sağlık durumunun korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Diyet (beslenme düzeni) insan sağlığı ve zindeliği (wellbeing) üzerinde en büyük etki yaratan değiştirilebilir faktördür (Shea vd., 2024; Park vd., 2026). Uygulanılan diyet, vücudumuza temel makro ve mikro besin öğelerini bir bütün olarak sağlayan çeşitli besin gruplarından oluşmaktadır. Bunun yanında gıdalar, metabolizmamız üzerinde etki gösteren çok sayıda biyoaktif bileşik içermektedir (Carlberg & Molnár, 2025). Nitekim vitamin, mineral, antioksidan ve lif yönünden zengin beslenme modelleri ile; kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve obezite gibi birçok kronik rahatsızlığın gelişim riskinin azaltıldığı ve yaşam kalitesinin artırıldığı bilinmektedir (Balsini Gavanaroudi, 2025).

Küresel ölçekte karşılaşılan pek çok sağlık sorununun temel nedenleri arasında yetersiz veya hatalı beslenme pratikleri yer almaktadır. Bu nedenle, diyetin optimize edilmesi, sağlığın korunması için atılması gereken en önemli adımlardandır (Ordovas, 2020).

Günümüzde beslenme rehberleri geleneksel olarak, yaş, cinsiyet veya yaşam tarzı, demografik değişkenlere göre gruplandırılmış standart bir yaklaşım sunmaktadır (Herforth vd., 2019; United Nations Children's Fund, 2021; Shea vd., 2024). Fakat kişilerin besin öğelerine verdiği yanıtlar, metabolik, çevresel, sosyal ve genetik etmenlerin ortak etkileşimiyle şekillenir. Bu süreçte bireysel gıda intoleransları, alerjiler, uyku ve fiziksel aktivite, tüketim tercihleri ile kültürel farklılıklar da fizyolojik yanıtı doğrudan etkileyebilmektedir (Meiliana & Wijaya, 2020).

* Gıda Mühendisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İstanbul, yildirims25@itu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0009-0000-6913-534X

** Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İstanbul, enesdertli@itu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0002-0421-6103

Tüm bu faktörler, yalnızca genel geçer beslenme önerileri geliştirmekle yetinilmeyip, diyeteye verilen fizyolojik yanıtları optimize etmeyi amaçlayan ve literatürde kişiselleştirilmiş veya hassas (precision) beslenme olarak tanımlanan bireye özgü stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Hinojosa-Nogueira vd., 2024; Yoon vd., 2024).

Kavramsal çerçeve: Bireye özgü beslenme yaklaşımları ve bileşenleri

Beslenme Referans Değeri (BRD) gibi güncel beslenme önerileri, bireyler arasındaki sayısız varyasyonu göz ardı ederek popülasyonu yalnızca yaş, cinsiyet, gebelik ve emzirme durumu gibi kriterlere göre tanımlanmış sınırlı gruplara ayrılmaktadır (Kohlmeier, 2020). Bu durum örneğin A, B, C ve D vitaminleri ile folik asit, kalsiyum (Ca), demir (Fe), selenyum (Se) ve çinko (Zn) gibi kritik mikro besin öğelerinin yetersiz veya aşırı alım riski oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Aguas-Ayesa vd., 2023; Tokpunar, 2026). Modern beslenme bilimi, sıradan diyet kılavuzlarının ötesine geçerek genetik, epigenetik, mikrobiyota ve metabolomik profillere dayalı bireyselleştirilmiş planlara yönelmektedir (Leziak vd., 2025). Kişiselleştirilmiş ve hassas beslenmenin asıl hedefi, bireysel farklılıkları dikkate alan diyet programları, ürünler veya hizmetler yoluyla sağlığı korumak ve geliştirmektir (Livingstone vd., 2022). Söz konusu bu iki terim akademik çalışmalarda sıklıkla birbirinin yerine kullanılmasına rağmen aralarında metodolojik bir derinlik ve odak farkı bulunmaktadır (da Silva vd., 2025).

Bu bağlamda kişiselleştirilmiş beslenme genellikle beden kitle indeksi (BKİ), yeme alışkanlıkları veya kişisel tercihler gibi fenotipik, davranışsal veya yaşam tarzı özelliklerine dayanan diyet önerilerini ifade etmektedir. Buna karşılık hassas (precision) beslenme daha hedefe yönelik stratejiler oluşturmak için omik yaklaşımlar sonucu elde edilen moleküler ve bu sebeple daha derin ve karmaşık biyolojik verilere dayanmaktadır (da Silva vd., 2025). Dolayısıyla, bireye özgü beslenme yaklaşımlarının omurgasını oluşturan temel kavramların tanımlanması gerekmektedir.

a) Nutrigenetik

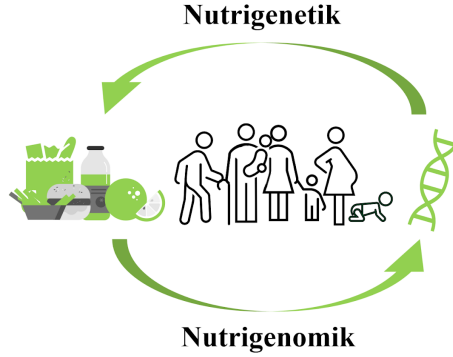
Nutrigenetik, hastalıklara karşı genetik yatkınlığı ve en yaygın genetik varyasyon türü olan tek nükleotid polimorfizmleri (SNP'ler) ile kopya sayısı varyasyonları (CNV'ler) gibi yapısal varyasyonların, besin öğelerinin metabolizmasını inceler. Bunun yanında vücudun bu besinlere

verdiği yanıtlar üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlar (Vizmanos vd., 2020; Hedayati vd., 2025). Bu kapsamda yürütülen nutrigenetik araştırmalar, belirli lokuslardaki varyasyonların ilgili olduğu metabolik yollar ve diyet bileşenleriyle olan karmaşık ilişkisini inceler (Rahimah vd., 2026).

Suudi yetişkinlerde yapılan bir çalışmada, TCF7L2 geni rs7903146 numaralı SNP'nin metabolik etkileri 271 kişilik bir kohortta incelenmiştir. Araştırmacılar, literatürde farklı etnik gruplarda Tip 2 Diyabet (T2D) riskiyle güçlü bir şekilde ilişkilendirilen bu varyasyonun kandaki total kolesterol, trigliserit, yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL), glikoz ve insülin gibi parametrelerle ilişkisini ve SNP-diyet etkileşimlerini tek değişkenli regresyon analiziyle test etmişlerdir. Sonuç olarak, rs7903146 SNP'si ile T2D için kritik bir gösterge olan bel çevresi değerleri arasında anlamlı bir ilişki ($p=0.05$) saptanmıştır. Genotipi TT olan bireylerin en yüksek bel çevresi değerlerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Aynı zamanda, bu genetik varyasyon ile bireylerin hem toplam enerji alımı ($p=0.04$) hem de doymuş yağ asidi (SFA) tüketimi ($p=0.005$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir etkileşim tespit edilmiştir. Gen-diyet etkileşimi açısından bakıldığında, TT genotipine sahip bireylerin düşük enerjili diyet koşulları altında insülin seviyelerinde çok daha belirgin bir düşüş sergilediği rapor edilmiştir (Al-odinan vd., 2025).

b) Nutrigenomik

İnsan Genom Projesi'nin tamamlanmasının ardından hızla gelişen bir bilim dalı olan nutrigenomik, makro/mikro besin öğeleri (nutrients) ve biyoaktif bileşenlerin, DNA metilasyonu ve histon modifikasyonu gibi epigenetik süreçler üzerinden gen ekspresyonunu ve regülasyonunu nasıl şekillendirdiğini incelemektedir (Livingstone vd., 2022; Carlberg & Molnár, 2025; Singh vd., 2025).



Şekil 1. Nutrigenetik ve nutrigenomik kavramları arasındaki etkileşim (Meiliana & Wijaya, 2020)

Her ne kadar iç içe geçmiş disiplinler olsalar da nutrigenetik ve nutrigenomik, gen ile besin öğeleri arasındaki çift yönlü ilişkinin farklı boyutlarını ele alır. Şekil 1’de özetlendiği üzere, nutrigenetik, genetik varyasyonların besin öğelerinin metabolizması üzerindeki etkisini incelerken; nutrigenomik besin öğelerinin gen ekspresyonunu nasıl modüle ettiğini araştırmaktadır (Agrawal vd., 2024). Nutrigenomik, diyet ile obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi hastalıklar arasındaki ilişkinin aydınlatılmasında kritik bir öneme sahiptir (MR vd., 2025).

c) Epigenetik

Epigenetik, genetik diziyi değiştirmeksizin gen ekspresyonunu etkileyen DNA ve kromatin yapısındaki değişiklikleri ele almaktadır. Yaşam boyu dinamik bir seyir izleyen modifikasyonlar, çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Parida vd., 2025). Hastalıklara karşı duyarlılıkta görülen bireyler arası farklılıklar, yalnızca DNA dizisine değil; aynı zamanda DNA metilasyonu, kovalent histon modifikasyonları, kromatin katlanması ve miRNA' nın düzenleyici etkileri gibi gen ekspresyonunu etkileyen epigenetik faktörlere de bağlıdır (Rahimah vd., 2026).

d) Omik yaklaşımlar

Omik teknolojileri, büyük ölçekli çalışmaların yürütülmesine olanak tanımaktadır. Bu teknolojiler, bilim insanlarının beslenmenin gen ekspresyonu ve metabolik süreçlerin düzenlenmesine nasıl dahil olduğunu anlamalarını sağlamakta olup, nutrigenomiğin temelini oluşturmaktadır. Genomik, proteomik ve diğer omik verilerinin entegrasyonu, diyet bileşenlerinin gen ekspresyonu ve metabolik süreçlerin regülasyonundaki dinamik etkileşimlerini aydınlatarak hastalıkların önlenmesi ve sağlığın geliştirilmesine yönelik kişiselleştirilmiş beslenme stratejilerinin geliştirilmesini sağlamaktadır (Logamani & Parthasarathi, 2026).

Tablo 1. Temel omik tanımları ve hedef molekülleri (Casas-Agustench & Andres-Lacueva, 2020).

Kaynak	İlgili Molekül	Tanım
Genomik	DNA	Organizmaya ait gen haritasının yapısal ve fonksiyonel olarak analiz edilmesidir.
Transkriptomik	RNA	Genom tarafından üretilen RNA transkriptlerinin (mRNA) tam setinin incelenmesidir.
Proteomik	Proteinler	Biyolojik bir sistemde ifade edilen tüm protein yapılarının küresel ölçekte incelenmesidir
Metabolomik	Metabolitler (Kısa zincirli yağ asitleri, şekerler, hormonlar)	Hücre, doku veya biyolojik sıvılardaki anlık metabolik süreçlerin son ürünleri olan küçük moleküllerin (şeker, amino asit, lipid, hormon) kapsamlı analizidir.
Mikrobiyomik	DNA ve metabolitler	Konakçı organizmanın başta bağırsak olmak üzere belirli bölgelerde kolonize olan mikrobiyal toplulukların makro düzeyde incelenmesidir.

Geleneksel modeller, gen-diyet çalışmalarında genellikle yalnızca 'bir etkileşim var mı?' sorusuna odaklanmakta ve doğrusal olmayan karmaşık süreçleri açıklamakta kısıtlı kalmaktadır. Buna karşı, çoklu omik ve makine öğrenmesi araştırmaları sürecin 'hangi biyolojik mekanizmayla ve hangi spesifik alt gruplar için' işlediğini ortaya koyduğundan bu araçların nedensel çıkarımlarla birleştirilmesi, gen-diyet çalışmalarını zayıf ilişkilerden kurtarır. Yüksek boyutlu karmaşık verileri, bireye özgü beslenmeye ve toplum sağlığına yön verebilecek, tekrarlanabilir çıktılara dönüştürmektedir (Maugeri, 2026).

Besin maddelerinin genlerle etkileşimleri

Yetersiz ve dengesiz beslenme, küresel ölçekte halk sağlığını tehdit eden en temel unsurlardan birisidir. Bu doğrultuda hem bireysel hem de

toplumsal düzeyde beslenme alışkanlıklarının optimize edilmesi, sağlığın korunması ve hastalıkların önlenmesinde kritik rol oynamaktadır (Ordovas, 2020).

Ancak literatürdeki verilerin, beslenme analiz yöntemleri, diyet bileşenleri ve genetik varyasyonlar açısından sergilediği yüksek heterojenlik, yetersiz örneklem boyutlarıyla da birleştğinde gen-diyet etkileşimlerinin net bir şekilde yorumlanmasını zorlaştırmaktadır (Tan vd., 2024). Nitekim Tablo 2'de, CYP1A2 gen varyasyonları ile kafein tüketimi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar özetlenmiştir. Popülasyona özgü genetik heterojenliğin beslenme davranışlarını ve bireysel kafein metabolizmasını nasıl şekillendirdiğini anlamaya yönelik bu araştırmalarda; incelenen SNP'lerin çeşitliliği, örneklemelerin farklı coğrafyalardan veya klinik durumlardan (sağlıklı/hasta) seçilmesi gibi pek çok çevresel ve kişisel değişken, bulguların bütüncül bir yaklaşımla yorumlanmasına engel olmaktadır.

Tablo 2. Kafein tüketimi ve ilişkili genetik varyasyonları üzerine yapılan bazı çalışmalar.

Kaynak	Gen	SNP numarası	Ülke	Yaş aralığı	Örnek lem sayısı	Referans
Kahve	CYP1 A2	rs762551	İtalya	18-45	639	(Mahdavi vd., 2023)
Kahve Çay	CYP1 A2	rs762551, rs2472297 rs2470893	Tunus	≤ 35 ve >35	520	(Denden vd., 2023)
Kafein	CYP1 A2	rs76255	Romanya	>18	358	(Popa vd., 2024)
Kahve	CYP1 A2 ADO RA2A	rs762551 s2274333	Polonya	20-40	421	(Nikrandt vd., 2022)
Kahve	CYP1 A2	rs762551	Yunanistan	6-25	22	(Gkouskou vd., 2022)
Kahve	CYP1 A2 AHR HECT D4	rs762551 rs4410790 rs2074356	Japonya	NA	7468	(Unohara vd., 2025)

NA=belirtilmemiş

Genetik Varyasyonlar ve Beslenme Yanıtları

Bireylerin besin maddelerini algılama ve tüketme eğilimleri genetik varyasyonlar tarafından doğrudan şekillendirilmektedir. Örneğin, tat reseptörü genlerindeki SNP'ler, kişisel gıda tercihlerini ve diyet içeriklerini belirlemede rol oynar (Ponnusamy vd., 2022; Mohammadifard vd., 2023). Vesnina vd. (2020) çalışmalarında, yağ ve karbonhidrat emilimi, gıda intoleransı, vitamin metabolizması, tat algısı ve gıda bağımlılığı özelinde bireylerin yeme eğilimlerini doğrudan etkileyen 34 farklı gen tanımlamıştır.

Gen-diyet etkileşimleri yalnızca tat algısı veya makro düzeydeki besin tercihleriyle sınırlı kalmayıp, mikro besin öğelerinin metabolizmasında da belirleyici olabilmektedir. SNP'ler, gen aktivitesini önemli ölçüde etkileyen ve mikro besin eksiklikleri ile ilişkili belirli fenotiplerle bağlantılı olan genetik varyasyonlardır (Dhuli vd., 2023). Mohammadifard vd. (2023) tarafından 18 yaş üzeri 116 sağlıklı yetişkin üzerinde yapılan kohort çalışmasına göre, SCNN1B ve TRPV1 genlerinde meydana gelen rs239345 ve rs224534 mutasyonlarının sodyum alımı ve kan basıncı seviyesi ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Fakat bu çalışma belirli bir etnik grup, küçük bir örneklem, cinsiyet, BKİ gibi parametreler hesaba katılmadan yapılmıştır. Genetik varyasyonların mikro besin eksikliklerindeki rolünü ve gen-diyet etkileşimlerini aydınlatmak amacıyla çok etnikli popülasyonlarda genom çapında ilişkilendirme çalışmaları önem kazanmaktadır. Nitekim genomdan elde edilen SNP verileri, bireyin çok sayıda SNP lokusundaki genetik değişkenliği dikkate alınarak kişiye özel beslenme önerilerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Mullins vd., 2020).

Gelecek Çalışmalar ve Etik Unsurlar

Geleneksel modeller, karmaşık ve doğrusal olmayan gen-diyet etkileşimlerini çözmede genellikle yetersiz kalmaktadır. Çoklu omik veri ile desteklenen yapay zekâ ve makine öğrenmesi araçları, yüksek boyutlu verilerin istatistiksel zayıflıkları minimize etmekte ve böylece bireye özgü sonuçların çok daha güvenilir ve standardize analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu yenilikçi algoritmalar, karmaşık gen-diyet etkileşimlerinin aydınlatılmasını kolaylaştırarak, metabolik yolların ve hastalıkla öngörülebilirliğini ve mekanizmasının aydınlatmasını sağlamaktadırlar. Bu durum gen-diyet araştırmalarını, hassas beslenme ve

toplum sağlığı uygulamalarına doğrudan yön verebilecek, tekrarlanabilir ve doğrulanmış bulgulara dönüştürülecektir. Bunun yanında yapay zekâ tabanlı modeller hem biyobelirteç keşfini, genotip verisiyle şekillendirilmiş diyet rehberliğini hem de giyilebilir teknolojiler ile gerçek zamanlı takibi destekleyerek obezite, diyabet ve kardiyovasküler rahatsızlıkların yönetiminde klinik açıdan önemli avantajlar sunmaktadır (Balamurugan & Adeyeye, 2026). Ancak tüm bu teknolojik sistemlerin ürettiği devasa bilgi akışına rağmen, kişiselleştirilmiş beslenmenin gelecekteki başarısı toplanan moleküler verilerin hacmiyle değil, biyolojik sistemlerin gıdalara nasıl yanıt verdiğine dair anlamlı, nicel ve moleküler temelli veriler çıkarabilme kapasitesiyle ölçülmektedir (da Silva vd., 2025).

Ek olarak, hassas beslenme alanında doğrudan tüketiciye yönelik (DTC) beslenme genetiği hizmetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte ticari amaçlı analizlerin sayısında belirgin bir artış yaşanmıştır. Ancak bu uygulamaları denetleyen spesifik mevzuatların yetersizliği, tüketici haklarının ihlal edilmesine zemin hazırlayabilmektedir (Singar vd., 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Nutrigenomik alanındaki gelişmeler, çeşitli biyoaktif bileşenlerin ve besin öğelerinin, metabolik yollar ile homeostatik kontrol mekanizmaları üzerindeki rolünün çok daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Gelecekte kişiye özel beslenme önerilerinin isabet oranını artırmak hedeflenmektedir. Bu amaçla, çoklu omik (genomik, transkriptomik, proteomik ve metabolomik) teknolojilerinden elde edilen verilerin klinik, davranışsal ve çevresel faktörlerle birlikte bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekecektir. Ortaya çıkan devasa veri yığınlarının anlamlandırılmasında yapay zekâ kilit bir rol üstlenecektir. Böylece bireylerin dinamik gereksinimlerine uygun hassas beslenme stratejileri çok daha kolay oluşturulacaktır. Entegre omik yaklaşımları, beslenme, yaşam tarzı, fiziksel aktivite ve mikrobiyom verilerini bir araya getirerek diyet reçetelerini doğrudan şekillendirecektir.

Hassas beslenmenin sağlık sistemine başarılı bir şekilde entegre edilebilmesi için sağladığı net faydaların ortaya konması ve maliyet etkinliğinin kanıtlanması şarttır. Ayrıca bu yaklaşımın ne zaman, nerede ve kimler için katma değer yarattığının daha kapsamlı araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Klinik entegrasyon için gereken güçlü kanıtlar

belirli standartlara dayanır. Ortak bir terminolojinin benimsenmesi, tekrarlanabilir araştırma yöntemlerinin kullanılması ve doğrulanmış modellerin geliştirilmesi bu aşamada kritik öneme sahiptir. Özellikle yapay zekâ ile desteklenen yaklaşımlar, popülasyon sınıflandırmasını iyileştirip araştırmalardaki tutarlılığı artırır. Sonuçta hassas stratejiler çok daha ölçeklenebilir ve klinik açıdan anlamlı hale gelerek, bu geçiş sürecini hızlandıracaktır.

KAYNAKÇA

- Agrawal, P., Kaur, J., Singh, J., Rasane, P., Sharma, K., Bhadariya, V., Kaur, S., & Kumar, V. (2024). Genetics, nutrition, and health: A new frontier in disease prevention. *Journal of the American Nutrition Association*, 43(4), 326-338. <https://doi.org/10.1080/27697061.2023.2284997>
- Aguas-Ayesa, M., Yáñez-Esquivroz, P., Olazarán, L., Gómez-Ambrosi, J., & Frühbeck, G. (2023). Precision nutrition in the context of bariatric surgery. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* (C. 24, Sayı 5, ss. 979-991). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11154-023-09794-5>
- Al-odinan, M. S., Aljefree, N. M., Almoraie, N. M., Bakarman, M. A., Alhadrami, H. A., & Shatwan, I. M. (2025). Interaction between the TCF7L2 gene and dietary intake on metabolic syndrome risk factors among Saudi Arabian adults. *Frontiers in Nutrition*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1513088>
- Balamurugan, J., & Adeyeye, S. A. O. (2026). Artificial intelligence in nutrigenomics: A critical review on functional food insights and personalized nutrition Pathways. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 39(1). <https://doi.org/10.1111/jhn.70200>
- Balsini Gavanaroudi, S. (2025). The Role of Nutrition in Chronic Disease Prevention and Management. *SPC Journal of Medical and Healthcare* 2025, 1(1), 29. <https://doi.org/10.48309/sjmh.2025.513482.1018>
- Carlberg, C., & Molnár, F. (2025). Interplay Between Environment, Diet, and Genome. C. Carlberg & F. Molnár (Ed.), *Nutrigenomics: How Science Works* (ss. 47-58). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85881-9_4
- Casas-Agustench, P., & Andres-Lacueva, C. (2020). A Broader View on Omics and Systems Biology. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics: Fundamentals of Individualized Nutrition*, 89-97. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804572-5.00012-4>
- da Silva, B. R., Brennan, L., Horst, M. A., Wishart, D. S., & Prado, C. M. (2025). Advancing precision nutrition: bridging mechanistic insight and clinical implementation. *Nature Reviews Endocrinology*, 21(9), 515-517. <https://doi.org/10.1038/s41574-025-01141-9>
- Denden, S., Sellami, M. H., Kibech, R., Haj Khelil, A., & Hamdaoui, M. H. (2023). Beverage preference (coffee vs. tea) according to CYP1A2 gene rs2470893 SNP genotypes in the Tunisian population. *Bulletin of the National Research Centre*, 47(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-023-00978-2>
- Dhuli, K., Medori, M. C., Bonetti, G., Donato, K., Cristoni, S., Miertus, S., Miertus, J., Veselenyiova, D., Iaconelli, A., Aquilanti, B., Matera, G., Connelly, S. T., & Bertelli, M. (2023). Nutrigenomics: SNPs correlated to minerals' deficiencies. *La Clinica terapeutica* (C. 174, Sayı 6, ss. 193-199). <https://doi.org/10.7417/CT.2023.2487>
- Gkouskou, K. G., Georgiopoulos, G., Vlastos, I., Lazou, E., Chaniotis, D., Papaioannou, T. G., Mantzoros, C. S., Sanoudou, D., & Eliopoulos, A. G. (2022). CYP1A2 polymorphisms modify the association of habitual coffee consumption with appetite, macronutrient intake, and body mass index: results from an observational cohort and a cross-over randomized study. *International Journal of Obesity*, 46(1), 162-168. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00972-6>
- Hedayati, M., Hosseinpour-Niazi, S., & Mirmiran, P. (2025). Nutrigenetics and metabolic syndrome: Evidence from a systematic review of the literature. *Genes & Nutrition*, 20, Makale 18. <https://doi.org/10.1186/s12263-025-00777-6>
- Herforth, A., Arimond, M., Álvarez-Sánchez, C., Coates, J., Christianson, K., & Muehlhoff, E. (2019). A Global review of food-based dietary guidelines. *Advances in Nutrition*, 10(4), 590-605. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY130>

- Hinojosa-Nogueira, D., Subiri-Verdugo, A., Díaz-Perdigones, C. M., Rodríguez-Muñoz, A., Vilches-Pérez, A., Mela, V., Tinahones, F. J., & Moreno-Indias, I. (2024). Precision or personalized nutrition: A bibliometric analysis. *Nutrients*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/nu16172922>
- Kohlmeier, M. (2020). Epistemology of Nutrigenetic Knowledge. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics: Fundamentals of Individualized Nutrition*, 107-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804572-5.00014-8>
- Leziak, A., Lipina, J., Reclik, M., & Kocelak, P. (2025). Dietary modulation of metabolic health: From bioactive compounds to personalized nutrition. *Metabolites*, 15(9), Makale 624. <https://doi.org/10.3390/metabo15090624>
- Livingstone, K. M., Ramos-Lopez, O., Pérusse, L., Kato, H., Ordovas, J. M., & Martínez, J. A. (2022). Reprint of: Precision nutrition: A review of current approaches and future endeavors. *Trends in Food Science & Technology*, 130, 51-62. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.10.010>
- Logamani, S., & Parthasarathi, T. (2026). Nutrigenomics and the interface between diet and gene expression. *Food and Humanity*, 6, 101104. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2026.101104>
- Mahdavi, S., Palatini, P., & El-Sohemy, A. (2023). CYP1A2 genetic variation, coffee intake, and kidney dysfunction. *JAMA Network Open*, 6(1), e2247868. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.47868>
- Maugeri, A. (2026). Mapping the analytical landscape of gene–diet interactions in epidemiology: From classical models to causal and multi-omics frameworks. *Nutrients*, 18(6), Makale 880. <https://doi.org/10.3390/nu18060880>
- Meiliana, A., & Wijaya, A. (2020). Nutrigenetics, Nutrigenomics and Precision Nutrition. *Indonesian Biomedical Journal*, 12(3), 189-200. <https://doi.org/10.18585/inabj.v12i3.1158>
- Mohammadifard, N., Moazeni, F., Azizian-Farsani, F., Gharipour, M., Khosravi, E., Sadeghian, L., Mansouri, A., Shirani, S., & Sarrafzadegan, N. (2023). Genetic variation in salt taste receptors impact salt intake and blood pressure. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23827-0>
- MR, K., Karri, R. K., Alagarsamy, R. Kumar, & Sundaresan, S. (2025). From gene to plate: Nutritional genomics and the second generation transgenics. *Nutrition*, 140, 112917. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2025.112917>
- Mullins, V. A., Bresette, W., Johnstone, L., Hallmark, B., & Chilton, F. H. (2020). Genomics in personalized nutrition: Can you “eat for your genes”? *Nutrients*, 12(10), Makale 3118. <https://doi.org/10.3390/nu12103118>
- Nikrandt, G., Mikolajczyk-Stecyna, J., Młodzik-Czyżewska, M., & Chmurzynska, A. (2022). Functional single-nucleotide polymorphism (rs762551) in CYP1A2 gene affects white coffee intake in healthy 20- to 40-year-old adults. *Nutrition Research*, 105, 77-81. <https://doi.org/10.1016/J.NUTRES.2022.06.003>
- Ordovas, J. M. (2020). Gene-Diet interactions and cardiovascular diseases: Saturated and monounsaturated fat. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics: Fundamentals of Individualized Nutrition*, 211-222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804572-5.00027-6>
- Parida, C. K., Behera, B. K., Rout, S. S., Jena, R., Parida, S. N., Panda, A., & Barik, S. R. (2025). A Comparative Overview of Epigenomics. *Advances in Omics Technologies: Exploring Genomics, Proteomics, and Metabolomics* (ss. 287-310). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-981-95-0285-1_13
- Park, S. H., Jung, C. H., & Ahn, J. (2026). Precision geronutrition: personalized nutritional strategies to extend healthy lifespan. *BMB reports*, 59(1), 51-59. <https://doi.org/10.5483/bmbrep.2025-0216>

- Ponnusamy, V., Subramanian, G., Muthuswamy, K., Shanmugamprema, D., Krishnan, V., Velusamy, T., & Subramaniam, S. (2022). Genetic variation in sweet taste receptors and a mechanistic perspective on sweet and fat taste sensation in the context of obesity. *Obesity Reviews*, 23(12), Makale e13512. <https://doi.org/10.1111/obr.13512>
- Popa, L. C., Farcas, S. S., & Andreescu, N. I. (2024). Coffee Consumption and CYP1A2 polymorphism involvement in type 2 diabetes in a romanian population. *Journal of Personalized Medicine*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/jpm14070717>
- Rahimah, S., Tallei, T. E., Savitri, M., Yamada, C., Kim, H. J., Choi, M., Park, M. N., Ophinni, Y., & Kim, B. (2026). Molecular basis of precision nutrition: Food components, microbiome-derived metabolites, and multi-omics modeling. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 12, 100411. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHMS.2026.100411>
- Shea, M. K., Strath, L., Kim, M., Doan, L. N., Booth, S. L., Brinkley, T. E., & Kritchevsky, S. B. (2024). Perspective: Promoting healthy aging through nutrition: A research centers collaborative network workshop report. *Advances in Nutrition*, 15(4), 100199. <https://doi.org/10.1016/J.ADVNUT.2024.100199>
- Singar, S., Nagpal, R., Arjmandi, B. H., & Akhavan, N. S. (2024). Personalized nutrition: Tailoring dietary recommendations through genetic insights. *Nutrients*, 16(16), Makale 2673. <https://doi.org/10.3390/nu16162673>
- Singh, Y., Likhita, J., Arya, M., Sinha, S., & Verma, V. (2025). Nutrigenomics and Its Applications. *Advances in Omics Technologies: Exploring Genomics, Proteomics, and Metabolomics* (ss. 311-342). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-981-95-0285-1_14
- Tan, P. Y., Moore, J. B., Bai, L., Tang, G., & Gong, Y. Y. (2024). In the context of the triple burden of malnutrition: A systematic review of gene-diet interactions and nutritional status. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(11), 3235-3263. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131727>
- Tokpunar, M. (2026). precision nutrition in certain situations that pose a risk of malnutrition: A comprehensive review. *Genel Tip Dergisi*, 36(2026). <https://doi.org/10.54005/geneltip.1750967>
- United Nations Children's Fund. (2021). *Food-based dietary guidelines: A review of national guidance for children, adolescents, and women*. <https://www.unicef.org/media/102761/file/2021-Food-based-Dietary-Guidelines-final.pdf>
- Unohara, T., Fujii, R., Watanabe, T., Matsuura, A., Torii, Y., Kita, K., Ishizu, M., Hara, M., Nishida, Y., Nagayoshi, M., Matsunaga, T., Okada, R., Kubo, Y., Tanoue, S., Hidaka, Y., Nishiyama, T., Nakagawa-Senda, H., Koyama, T., Watanabe, I., ... Matsuo, K. (2025). Coffee intake, genetic variants, and chronic kidney disease: a cross-sectional analysis of the Japan Multi-Institutional Collaborative Cohort (J-MICC) study. *European Journal of Nutrition*, 64(7). <https://doi.org/10.1007/s00394-025-03819-2>
- Vesnina, A., Prosekov, A., Kozlova, O., & Atuchin, V. (2020). Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition. *Genes*, 11(4), Makale 357. <https://doi.org/10.3390/genes11040357>
- Vizmanos, J. L., Cross, N. C. P., & Novo, F. J. (2020). The nature of traits, genes and variation. *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics: Fundamentals of Individualized Nutrition*, 3-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804572-5.00001-X>
- Yoon, Y. S., Lee, H. I., & Oh, S. W. (2024). A life-stage approach to precision nutrition: A narrative review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.66813>

ÖZEL BESLENMEDE GIDA DOKUSU MÜHENDİSLİĞİ: LEZZET, YUTMA GÜVENLİĞİ VE KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ YAPI TASARIMI

Gözde Ela Albayrak*, Neslihan Bozdoğan**, Seher Kumcuoğlu***

GİRİŞ

Özel beslenme, standart diyetle karşılanamayan beslenme gereksinimlerinin yaş, hastalık durumu, metabolik ihtiyaçlar veya fizyolojik kısıtlılıklar doğrultusunda hedeflenmiş ürün ve stratejilerle yönetilmesini kapsar. Bu alan içinde yer alan özel tıbbi amaçlı gıdalar, normal diyetin uyarlanmasıyla yeterli beslenme desteği sağlamayan bireylerde, tıbbi gözetim altında kullanılmak üzere özel olarak formüle edilen ürünlerdir. Bu nedenle özellikle disfaji ve yaşlı bireyler gibi hassas popülasyonlar için özel beslenme ürünlerinin geliştirilmesi, gıda mühendisliği açısından çok hedefli bir tasarım ve optimizasyon problemidir (European Commission, 2013; Raheem vd., 2021).

Çiğneme ve/veya yutma güçlüğü yaşayan yaşlı bireyler ile nörolojik hastalığı, inme öyküsü, baş-boyun kanseri tedavisi veya ilerleyici kas kaybı bulunan bireyler bu alanın en önemli hedef popülasyonunu oluşturmaktadır.

Güncel sistematik derlemeler, orofaringeal disfajinin farklı popülasyonlarda değişken fakat önemli düzeyde görüldüğünü; özellikle yaşlı, hastane veya bakım evi popülasyonlarında riskin belirgin biçimde arttığını göstermektedir (Rajati vd., 2022; Ribeiro vd., 2024). Türkiye’de huzurevi sakinleri üzerinde yapılan güncel bir çalışma, disfaji riskinin kullanılan tarama aracına göre değiştiğini ve bakım ortamlarında disfaji taramasının ihmal edilmemesi gereken bir klinik gereksinim olduğunu göstermektedir (Savaş vd., 2024).

* Gıda Yüksek Mühendisi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, gozdeelaalbayrak@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0003-4808-5499

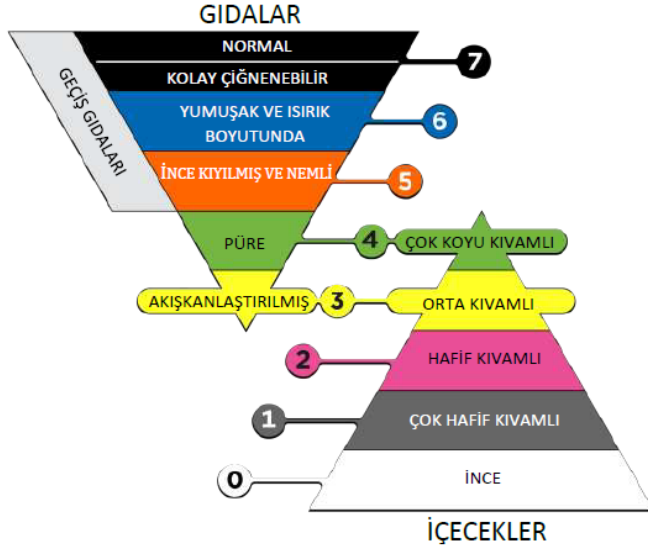
** Dr., Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, neslihanbozdogan5@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0003-2443-5829

*** Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, seher.kumcuoglu@ege.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0002-3663-2881

Yutma eyleminin yalnızca gıdanın ağıza alınmasıyla değil, oral işleme sırasında güvenli bir bolusa dönüştürülmesiyle ilişkili olması, özel beslenmede gıda dokusunun önemini ortaya koymaktadır. Çiğneme, tükürükle karışma, parçalanma ve kayganlaşma süreçleri sonucunda oluşan bolusun reolojik ve yapısal özellikleri, yutma refleksinin güvenli biçimde tetiklenmesinde belirleyicidir. Bu nedenle ürünün ağıza girmeden önceki sertliği, kıvamı veya görünümü tek başına yeterli değildir; asıl kritik nokta, oral işlem sonrasında oluşan bolusun akış özellikleri, bütünlüğü, kohezivliği ve ağızda dağılma davranışdır (Steele vd., 2015; Liu vd., 2024).

Bu bağlamda doku modifikasyonu, özel beslenme ürünlerinde yutma güvenliğini artırmak için kullanılan temel yaklaşımlardan biridir; ancak yalnızca “gıdayı koyulaştırma” veya “püre hâline getirme” işlemi olarak ele alınmamalıdır. Uluslararası Disfaji Diyeti Standardizasyon Girişimi (IDDSI), gıda dokuları ve içecek kıvamları için 0–7 arasında ortak bir terminoloji tanımlayarak klinisyenler, diyetisyenler, bakım verenler ve gıda üreticileri arasında standart bir iletişim zemini sağlar (Şekil 1). Bu çerçevede, klinik uygulamada uygun kıvam seçimini kolaylaştırırken, ürün geliştirme sürecinde de hedeflenen doku seviyesinin açıkça tanımlanmasına yardımcı olur. Bununla birlikte IDDSI sınıflaması, ürün başarısını tek başına garanti etmez; formüle edilen ürünün reolojik davranışı, ağız hissi, porsiyon başına besin yoğunluğu ve gerçek tüketici kabulüyle birlikte değerlendirilmesi gerekir (Cichero vd., 2017; IDDSI, 2026)

Doku, lezzet ve yutma güvenliği özel beslenme ürünlerinde birbirinden bağımsız tasarım kriterleri değildir. Yutma güvenliği aspirasyon ve boğulma riskini azaltmak açısından klinik öncelik taşırken, lezzet ve ağız hissi ürünün düzenli tüketilebilmesi için gereklidir. Güvenli fakat duysal olarak kabul edilmeyen bir ürün, uzun vadede yetersiz enerji, protein, sıvı veya mikronutrient alımına yol açabilir. Doku modifiye diyetler ve kıvamlandırılmış sıvılar üzerine yapılan sistematik derlemeler, bu ürünlerin güvenlik açısından gerekli olabilmesine rağmen besin alımı ve yemek zamanı memnuniyetini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir (Wu vd., 2020; Wu vd., 2021).



Şekil 1. Uluslararası Disfaji Diyeti Standardizasyon Girişimi (IDDSI) çerçevesine göre gıdalar ve içecekler için tanımlanan tekstür/kıvam düzeyleri. Düzey 0–4 içecek kıvamlarını, Düzey 3–7 ise püre, ince kıyılmış-nemli, yumuşak ve normal gıda dokularını kapsamaktadır. Geçiş gıdaları, ağızda veya nem ile temas ettiğinde tekstürel değişim gösteren ürünleri ifade etmektedir. Kaynak: IDDSI (2026) çerçevesinden uyarlanmıştır.

Bu sorunun yaşam kalitesi boyutu da dikkate alınmalıdır. Disfaji ve doku modifiye diyet gereksinimi, bireyin yalnızca fiziksel beslenmesini değil, yemek yeme deneyimini, sosyal katılımını ve özerklik algısını da etkileyebilir. Yemek zamanında memnuniyetsizlik, yeme süresinin uzaması, yutma yorgunluğu, görünüşü değişmiş gıdaların reddedilmesi ve sosyal ortamlarda yemek yemekten kaçınma gibi etkenler özel beslenme ürünlerinin yalnızca güvenlik odaklı değil, hasta merkezli ve duysal açıdan kabul edilebilir biçimde tasarlanması gerektiğini göstermektedir (Wu vd., 2022; Liu vd., 2024).

Bu bölümün devamında ele alınacak teknolojik yaklaşımlar, özel beslenmede bu çok boyutlu tasarım gereksinimine yanıt vermeyi amaçlamaktadır. Bu bölümden itibaren ele alınacak yaklaşımlar, özel beslenmede lezzet, doku ve yutma güvenliği arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılan mühendislik temelli çözüm platformları olarak değerlendirilmelidir. Tekstür modifiye gıdalar ve disfajiye yönelik yaklaşımlar, jelleşme sistemleri, emülsiyonlar ve emülsiyon jeller, köpük

sistemleri ve 3 boyutlu (3B) gıda baskısı ayrıntılı olarak değerlendirilecektir.

Özel beslenme ürünlerinde lezzet ve doku kaybı: Nedenler ve teknolojik çözümler

Özel beslenme ürünlerinde lezzet ve doku kaybı çoğunlukla güvenli yutmayı sağlamak için uygulanan geleneksel işlemlerden kaynaklanmaktadır. Sıvıların koyulaştırılması, katı gıdaların püre hâline getirilmesi, homojenizasyon, ısıtma işlemi veya yüksek oranda hidrokolloid kullanımı, ürünün doğal yapısını, görsel formunu, aroma salınımını ve ağız hissini değiştirebilir. Bu nedenle özel beslenme ürünlerinin geliştirilmesi, gıda mühendisliği açısından çok hedefli bir tasarım ve optimizasyon problemidir: ürün güvenli yutulabilir olmalı, ancak bu güvenlik duyusal kabul ve besinsel yeterlilik pahasına sağlanmamalıdır (de Villiers vd., 2020; Raheem vd., 2021).

Lezzet ve doku kaybının önemli nedenlerinden biri, oral işleme sırasında gıdanın ağız yüzeyleriyle ve tükürükle etkileşiminin değişmesidir. Artan viskozite veya yapışkanlık, bazı durumlarda bolus kontrolünü destekleyebilir; ancak aynı zamanda ağızda kaplama hissi, kalıntı, aromanın baskılanması veya yutma sonrası rahatsızlık oluşturabilir. Bu nedenle yalnızca viskozite ölçümü yeterli değildir; reolojiye ek olarak tribolojik ölçümler, ağız içi sürtünme, kayganlık ve kremamsılık gibi duyusal algılarla ilişkili parametreleri anlamak giderek daha önemli hâle gelmektedir (Methacanon vd., 2021; Araiza-Calahorra vd., 2023).

Doku modifikasyonunun bir diğer sonucu, lezzet salınımı ve besin biyoyararlanımı üzerindeki etkisidir. Gıda matrisinin parçalanma biçimi, yağ fazının dağılımı, protein ve polisakkaritlerle aroma bileşiklerinin etkileşimi ve tükürükle karışma davranışı tat ve aroma yoğunluğunu belirleyen temel etkenlerdir. Püreleştirme veya aşırı kıvamlandırma, aroma bileşiklerinin retronasal yola ulaşmasını sınırlayabilir; ısıtma işlemi ve protein konformasyonundaki değişimler ise aroma bağlama ve salınım davranışını değiştirebilir. Bu nedenle özel beslenme ürünlerinde lezzet kaybı yalnızca “tat eksikliği” değil, doğrudan gıda matrisinin fizikokimyasal organizasyonu ile ilişkili bir tasarım sorunudur (Matta vd., 2006; Funami, 2011; Chen vd., 2023).

Bu kayıplara karşı geliştirilen teknolojik çözümler, hidrokolloid optimizasyonu, bileşik biyopolimer sistemleri, yüksek basınçlı işleme,

enkapsülasyon, emülsiyon jeller ve 3B gıda baskısı gibi yaklaşımları içermektedir. Hidrokolloidlerin türü, konsantrasyonu ve proses koşulları, ürünün kıvamını, sterilizasyon sonrası stabilitesini ve hedef IDDSI düzeyine uygunluğunu etkileyebilir. Yüksek basınçlı işleme ise bazı ürünlerde ısı işlem kaynaklı kalite kayıplarını azaltırken, doku modifiye pürelerde veya protein bazlı tatlılarda hedeflenen yumuşak yapının geliştirilmesine katkı sağlayabilir (Limampai vd., 2023; Giura vd., 2023).

Yeni nesil yapılandırma teknolojileri, özel beslenme ürünlerinde lezzet, doku, görünüm ve tüketim deneyimini birlikte iyileştirmeyi hedeflemektedir. Emülsiyon jel sistemleri enerji yoğunluğu ve ağız hissini destekleyebilirken, 3B gıda baskısı püre veya şekilsiz matrislerin kişiselleştirilmiş ve görsel olarak daha kabul edilebilir formlarda sunulmasını sağlayabilir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin başarısı reoloji, tekstür, mikroyapı, baskılanabilirlik, yutulabilirlik ve duysal kabul gibi özelliklerin birlikte doğrulanmasına bağlıdır (X. Wang vd., 2023; Wang vd., 2024; Shao vd., 2025).

Tekstür modifiye gıdalar ve disfajiye yönelik yaklaşımlar

Tekstür modifiye gıdalar, çiğneme ve/veya yutma güçlüğü yaşayan bireylerde güvenli ve sürdürülebilir beslenmeyi desteklemek amacıyla gıdanın fiziksel özelliklerinin kontrollü biçimde düzenlenmesini kapsar. Bu yaklaşım, yalnızca kıvam artırma veya püre hazırlama işlemiyle sınırlı olmayıp gıda yapısını oral işleme ve yutma fizyolojisiyle uyumlu hâle getirmeyi hedefleyen mühendislik temelli bir ürün tasarımı anlayışını yansıtmaktadır (Raheem vd., 2021).

Disfaji ve yutma güvenliği

Disfaji, gıda veya sıvıların ağız boşluğundan mideye güvenli ve etkin biçimde taşınmasında güçlük yaşanması olarak tanımlanır. Yutma süreci oral hazırlık, oral taşıma, faringeal ve özofageal fazları içeren karmaşık bir nöromüsküler süreçtir; bu süreçte gıdanın parçalanması, tükürükle karışması, bolus hâline gelmesi ve hava yoluna kaçmadan ilerlemesi gerekir. Bu nedenle disfaji, yalnızca “yutma zorluğu” olarak değil; aspirasyon, boğulma, beslenme yetersizliği, dehidrasyon ve yaşam kalitesinde azalma ile ilişkili çok boyutlu bir klinik durum olarak değerlendirilmelidir (Liu vd., 2024).

Yutma güvenliği, disfajiye yönelik özel beslenme ürünlerinin geliştirilmesinde temel belirleyicidir. İnce sıvılar ağız ve farenkste hızlı

hareket edebildiği için bazı bireylerde kontrolü zorlaşabilir; buna karşılık aşırı koyu, yapışkan veya kalıntı bırakan yapılar da güvenli yutmayı zorlaştırabilir. Dolayısıyla disfaji ürünlerinde temel hedef, yalnızca akışı yavaşlatmak değil, bireyin yutma kapasitesine uygun dengeli bir bolus davranışı oluşturmaktır (Steele vd., 2015). Bolusun ağız içinde dağılmadan kontrol edilebilmesi, tükürükle uygun biçimde karışması ve farenkse geçerken bütünlüğünü koruması önemlidir. Bu noktada yalnızca viskozite değil, bolus kohezyonu, akma gerilimi, yapışkanlık, parçalanma davranışı ve kayganlık gibi özellikler birlikte değerlendirilmelidir (Nishinari vd., 2019).

Tekstür modifikasyonunun amacı ve özel beslenmedeki önemi

Tekstür modifikasyonu, disfajiye yönelik ürünlerde fiziksel kıvam ayarlamasının yanında ürünün ağız içinde kontrol edilebilir olmasını, tükürükle uygun şekilde karışmasını, güvenli bir bolusa dönüşmesini ve yutma sırasında aspirasyon ya da boğulma riskini azaltmasını da sağlayan çok parametrelili bir gıda tasarım sürecidir (Cichero vd., 2017). Özel beslenme açısından bu yaklaşım, güvenli yutmanın yanında besin alımının sürdürülebilirliği bakımından da önem taşır. Uygun olmayan tekstür, yeme süresinin uzamasına, yutma yorgunluğuna, besin tüketiminin azalmasına ve sıvı alımının kısıtlanmasına yol açabilir. Bu nedenle tekstür modifiye gıdalar, yalnızca güvenlik sağlayan ürünler olarak değil, bireyin günlük beslenme rutinini devam ettirmesine yardımcı olan destekleyici ürünler olarak değerlendirilmelidir (Wu vd., 2020).

Tekstür modifikasyonu; kıvamlandırılmış sıvılar, püreler, homojen yarı katı ürünler, yumuşak ve küçük parçalı gıdalar, kıyılmış-nemli yapılar, jel bazlı sistemler ve şekillendirilmiş özel beslenme ürünleri gibi farklı formatlarda uygulanabilir. Bireye uygun ürün formu belirlenirken çiğneme kapasitesi, yutma refleksi ve oral kontrol gibi fiziksel yeterlilikler; enerji ve protein gereksinimleri, bakım ortamının olanakları ile klinik ve duyuşsal beklentiler birlikte değerlendirilmelidir (Raheem vd., 2021). Bununla birlikte, püreleştirme, kıvam artırma veya parçacık boyutunu küçültme işlemleri ürünün doğal görünümünü, lezzet algısını, ağız hissini ve aroma salınımını değiştirebilir. Bu nedenle özel beslenmede tekstür modifikasyonunun başarısı, ürünün yalnızca hedef fiziksel özelliklere ulaşmasıyla değil; güvenli, besleyici, lezzetli ve düzenli tüketilebilir olmasıyla değerlendirilmelidir (Fizman & Laguna, 2023).

Kıvam, akış davranışı ve bolus oluşumu

Disfajiye yönelik tekstür modifiye gıdalarda kıvam ve akış davranışı yutma güvenliğiyle doğrudan ilişkilidir; ancak kıvam yalnızca tek bir viskozite değeriyle açıklanamaz. Oral işlem sırasında ürün farklı kayma hızlarına, dil-damak basıncına, tükürükle seyrelmeye, parçalanmaya ve yüzeylerle sürtünmeye maruz kalır. Bu nedenle gıdanın yutma sırasındaki davranışı; görünür viskozite, kayma ile incelen akış davranışı, akma gerilimi, viskoelastik yapı, kohezivlik, adhezivite ve tribolojik özelliklerin birlikte değerlendirilmesiyle anlaşılabilir (Munialo vd., 2020).

Düşük viskoziteli sıvılar, bazı disfaji hastalarında ağız ve farenks içinde hızlı ilerleyerek yutma refleksi tetiklenmeden hava yoluna kaçma riskini artırabilir. Ancak “daha koyu” ürün her zaman “daha güvenli” anlamına gelmez; çünkü aşırı viskoz veya yapışkan ürünler ağızda ve farenkste kalıntı bırakabilir, yutmayı zorlaştırabilir ve tüketim isteğini azaltabilir. Bu nedenle disfaji ürünlerinde hedef, yüksek kıvamdan ziyade kontrollü akış ve yeterli bolus bütünlüğüdür (Sukkar vd., 2018). Parçacıklı veya püre benzeri yarı katı sistemlerde partikül boyutu, partikül şekli, sürekli fazın reolojisi ve tükürükle karışma davranışı bolus bütünlüğünü ve yutma kolaylığı algısını belirleyebilir (Tobin vd., 2020).

Akma gerilimi, kohezivlik ve adhezivite, püre jel benzeri ve kaşıkla tüketilen yarı katı ürünlerde yapısal stabilite ve ağız içi işlenebilirlik açısından birlikte değerlendirilmelidir. Belirli bir akma gerilimine sahip sistemler düşük gerilim koşullarında formunu korurken, yeterli oral basınç veya kayma altında akışa geçebilir. Bu nedenle akma gerilimi, ürün stabilitesinin yanı sıra viskozite, kayma incilmesi ve koheziv yapı ile birlikte değerlendirilmelidir (Sopade vd., 2006). Kohezivliği yetersiz sistemler oral işlem sırasında parçalanarak güvenli bolus oluşumunu zorlaştırırken, adhezivitesi aşırı yüksek ürünler ağızda ve farenkste kalıntı riskini artırılabileceğinden, disfaji ürünlerinde tekstürel yapı yalnızca viskoziteyle değil; kohezivlik, adhezivite ve akış davranışıyla birlikte değerlendirilmelidir (Cichero vd., 2017; Nishinari vd., 2019). Bu bütüncül yaklaşım sonraki bölümlerde ele alınacak jel, emülsiyon jel, köpük ve 3B baskı sistemlerinin güvenli yutma ve duyuusal kabul açısından değerlendirilmesi için de temel oluşturur.

IDDSI sınıflandırmasına kısa bakış

Disfajiye yönelik tekstür modifiye gıdaların geliştirilmesinde farklı kıvam ve tekstür düzeylerinin ortak bir terminolojiyle tanımlanabilmesi büyük önem taşır. IDDSI çerçevesi, içecekler ile gıdalar için 0–7 arasında standartlaştırılmış düzeyler tanımlayarak (Şekil 1) klinisyenler, diyetisyenler, bakım verenler ve gıda üreticileri arasında ortak bir değerlendirme dili sağlar (Cichero vd., 2017; IDDSI, 2026). Akış testi, çatal damlama testi, kaşık eğme testi ve çatal basınç testi gibi yöntemler ürünün hedef düzeye uygunluğunu değerlendirmeye yardımcı olur. Bununla birlikte IDDSI, tek başına bir reoloji standardı olarak görülmemelidir. Aynı IDDSI seviyesinde yer alan iki ürün; lezzet, ağız hissi, pürüzsüzlük, yapışkanlık, besin yoğunluğu, aroma salınımı, mikroyapı ve tüketici kabulü açısından belirgin farklılıklar gösterebilir. IDDSI, disfaji ürünleri için güçlü bir sınıflandırma çerçevesi sunsa da tek başına ürün kalitesini tanımlamaz; aynı IDDSI seviyesindeki ürünler reoloji, ağız hissi, yapışkanlık, duyuşsal kabul ve besin yoğunluğu açısından farklılaşabilir. Bu nedenle IDDSI düzeyi, reolojik, tekstürel, mikroyapısal ve duyuşsal analizlerle birlikte değerlendirilmelidir (Côté vd., 2020; Munialo vd., 2020; Chen vd., 2026).

Güvenli yutma ve tüketici kabulü arasındaki denge

Disfajiye yönelik tekstür modifiye gıdalarda temel amaç, bireyin yutma kapasitesine uygun güvenli bir yapı oluştururken yeterli ve sürdürülebilir besin alımını desteklemektir. Ancak yalnızca yutma güvenliğine odaklanan bir yaklaşım, ürünün duyuşsal kabulünü ve düzenli tüketilebilirliğini olumlu yönde etkileyebilir. Kıvam arttırma, püreleştirme, parçacık boyutunu küçültme gibi işlemler aspirasyon ve boğulma riskini azaltmaya katkı sağlayabilir; ancak aynı zamanda ürünün görünümünü, lezzet algısını, aroma salınımını, ağız hissini ve tüketim isteğini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle güvenli yutma ile tüketici kabulü arasında dikkatli bir denge kurulmalıdır (Wu vd., 2021; Fiszman & Laguna, 2023)

Tüketici kabulü yalnızca lezzetle sınırlı değildir; ürünün görünümü, rengi, kokusu, pürüzsüzlüğü, ağızda bıraktığı his, yutma sonrası kalıntı hissi ve yemek deneyimi de tüketim davranışını etkiler. Özellikle uzun süreli bakım gerektiren bireylerde duyuşsal açıdan kabul edilmeyen bir ürün güvenli olsa bile düzenli tüketilmeyebilir. Bu durum enerji, protein, sıvı ve

mikronutrient alımını azaltarak malnütrisyon riskini artırabilir. Bu nedenle tekstür modifiye ürünlerde başarı, yalnızca aspirasyon riskini azaltmakla değil, bireyin ürünü isteyerek ve sürdürülebilir biçimde tüketmesiyle ilişkilidir (Wu vd., 2022). Hedef, bireyin yutma kapasitesine uygun, ağız içinde kontrol edilebilen, yeterli bolus bütünlüğü sağlayan, besin yoğunluğu korunmuş ve duyuşsal olarak kabul edilebilir ürünler tasarlamaktır (Liu vd., 2025).

Jelleşme sistemleri: kontrollü doku ve yutulabilirlik tasarımı

Jelleşme sistemleri, özel beslenme ürünlerinde hedeflenen doku, form stabilitesi ve yutulabilirlik özelliklerinin tasarlanmasında temel yapılandırma yaklaşımlarından biridir. Protein, polisakkarit veya nişasta bazlı üç boyutlu biyopolimer ağları, su tutma kapasitesi, mekanik dayanım ve viskoelastik davranışı belirlerken oral deformasyon ve güvenli bolus oluşumu açısından da kritik işlev üstlenmektedir (Nishinari vd., 2019; Nath vd., 2023; X. Wang vd., 2023; Guo vd., 2024). Bu nedenle özel beslenmeye uygun bir jel, kaşıkla alınabilen, dil-damak basıncıyla kontrollü biçimde parçalanabilen ve güvenli bolus oluşumunu destekleyen bir gıda sistemi olarak değerlendirilmelidir.

Gıda jellerinin temel özellikleri ve jelleşme mekanizmaları

Gıda jellerinin temel işlevi, sürekli faz içinde suyu ve diğer bileşenleri üç boyutlu bir ağ yapısı içerisinde tutarak yarı katı, viskoelastik ve kontrollü deformasyon gösterebilen bir yapı oluşturmaktır. Bu yapı, ürünün sertliğini, elastikiyetini, su tutma kapasitesini, sineresis eğilimini, ağızda kırılma davranışını ve depolama stabilitesini belirler. Jelleşme, ısıtma işlemi, soğutma, iyonik çapraz bağlanma, pH değişimi ve enzimatik reaksiyonlar gibi farklı mekanizmalarla gerçekleşebilir (Nath vd., 2023; Guo vd., 2024). Nişasta bazlı sistemlerde ise granül şişmesi, jelatinizasyon ve soğuma sırasında gerçekleşen moleküler yeniden düzenlenme, jel yapısının oluşumunda belirleyicidir.

Özel beslenme ürünlerinde jelleşme mekanizmasının seçimi, hedeflenen tekstür düzeyi ve tüketim senaryosuyla birlikte değerlendirilmelidir. Isıtma işlemiyle oluşan protein jelleri yüksek proteinli yumuşak ürünlerde kullanılabilirken, iyonik çapraz bağlanan polisakkarit jeller daha kontrollü form stabilitesi sağlayabilir; nişasta temelli jeller ise püre ve yarı katı ürünlerde kıvam oluşturma açısından önemlidir. Bununla birlikte jelatinizasyon, retrogradasyon ve su salımı gibi süreçler ürün

tekstürünü ve depolama stabilitesini etkileyebileceğinden jel sistemleri küçük deformasyon reolojisi, akış davranışı, akma gerilimi, tekstür analizi ve mikroyapısal değerlendirmeler ile karakterize edilmelidir (Ang vd., 2022; X. Wang vd., 2023; Dong vd., 2025).

Protein, polisakkarit ve nişasta bazlı jeller

Protein bazlı jeller, özel beslenme ürünlerinde hem yapı kazandırıcı hem de besin değeri artırıcı bileşenler olarak değerlendirilebilir. Süt proteinleri, yumurta proteinleri, jelatin, soya, bezelye ve diğer bitkisel protein izolatları; ısı denatürasyonu, pH değişimi, tuz etkisi veya enzimatik çapraz bağlanma yoluyla jel ağı oluşturabilir (Guo vd., 2024). Yaşlı ve disfajisi olan bireylerde protein alımının desteklenmesi önemli olduğundan, protein jelleri yumuşak, kaşıkla sunulabilir ve yüksek besin yoğunluğuna sahip ürünlerin geliştirilmesinde değerli bir matris sunar (Ang vd., 2022).

Bitkisel protein izolatları sürdürülebilirlik ve besin zenginleştirme açısından önemli olsa da çözünürlük, agregasyon, pütürlü ağız hissi ve zayıf jel ağı gibi teknolojik sınırlılıklar gösterebilir. Protein-polisakkarit kombinasyonları, jel ağının mekanik özelliklerini, su tutma kapasitesini, pürüzsüzlüğünü ve oral dağılma davranışını düzenlemek için kullanılabilir (Kazemi-Taskooh & Varidi, 2023). Bu etkileşimler elektrostatik çekim, hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler ve faz ayrımı mekanizmaları üzerinden matris mimarisini belirleyebilir. Dolayısıyla özel beslenmede biyopolimer seçimi yalnızca bileşen kompozisyonu açısından değil, ağ organizasyonu ve ağız içi davranışa göre yapılmalıdır.

Nişasta bazlı jeller, püreler, kıvamlandırılmış ürünler ve yarı katı özel beslenme formülasyonlarında yaygın kullanılan sistemlerdir. Nişasta granüllerinin şişmesi ve jelatinizasyonu, ürünün viskozite ve kıvam özelliklerini belirlerken; soğuma ve depolama sırasında gerçekleşen yeniden düzenlenme sertlik, yapışkanlık ve su salımı gibi özellikleri etkileyebilir (Dong vd., 2025). Retrogradasyon, depolama sırasında sertleşme ve sineresis gibi sorunlara yol açabileceğinden, nişasta çoğu zaman protein veya hidrokolloidlerle birlikte kullanılarak daha stabil ve kontrollü oral işlem davranışı gösteren matrisler oluşturulabilir.

Jel reolojisi: Sertlik, elastisite, kırılganlık ve oral dağılma davranışı

Jel reolojisi, özel beslenmeye yönelik ürünlerde yalnızca ürünün sertliğini değil, ağızda nasıl deforme olduğunu, nasıl parçalandığını ve bolus oluşumuna nasıl katkı verdiğini açıklayan temel bir değerlendirme alanıdır. Disfajiye uygun bir jel, en yüksek elastik modüle sahip olan yapı değil; ağız içinde kontrol edilebilen, dil-damak basıncıyla uygun şekilde parçalanabilen, aşırı yapışkanlık oluşturmayan ve yutma sırasında bütünlüğünü koruyan yapı olmalıdır (Nishinari vd., 2019).

Küçük deformasyon reolojisi, jel ağının elastik ve viskoz bileşenlerini ayrıştırarak yapısal karakterizasyona olanak tanırken; büyük deformasyon testleri ve Tekstür Profil Analizi (TPA), ürünün oral işlem sırasındaki deformasyon ve parçalanma davranışını daha fizyolojik açıdan temsil edici biçimde ortaya koymaktadır (X. Wang vd., 2023). Yüksek G' değeri form stabilitesini destekleyebilir; ancak aşırı elastik veya dirençli bir jel ağızda yeterince kolay dağılmayabilir. Buna karşılık çok zayıf bir jel de kaşıkla sunumda formunu koruyamayabilir. Oral dağılma davranışı ise yalnızca kırılganlıkla değil, tükürükle etkileşim, yüzey kayganlığı, parçalanma sonrası oluşan jel partiküllerinin boyutu, bolus bütünlüğü, kohezivlik ve adhezivite ile de ilişkilidir (Nishinari vd., 2019). Bu nedenle güvenli yutma açısından jel tasarımında yalnızca viskoziteyi veya sertliği artırmaya dayalı bir yaklaşım yerine; kontrollü kırılma, uygun kayganlık, düşük kalıntı ve yeterli bolus bütünlüğü hedeflenmelidir.

Disfaji ürünlerinde jel sistemleri

Disfaji ürünlerinde jel sistemleri, form stabilitesi sağlamak, serbest sıvı ayrılmasını sınırlamak ve kaşıkla sunulabilir, bolus bütünlüğünü destekleyen yapılar oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Jel yapısının aşırı sertlik, kırılganlık veya yapışkanlık sergilememesi, ağızda kontrollü parçalanma ve güvenli yutma açısından temel bir tasarım kriteri olup IDDSI uygunluğu, reolojik davranış, TPA, su tutma kapasitesi ve duyuşal kabul edilebilirlik bir arada değerlendirilmelidir (X. Wang vd., 2023; Dong vd., 2025).

Yüksek proteinli ve besin değeri artırılmış jel sistemleri, yaşlı ve disfajisi olan bireylerde malnütrisyon riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Ancak, protein miktarının artırılması jel ağını sertleştirebilir, pütürlü ağız hissi oluşturabilir veya su tutma davranışını değiştirebilir. Bu

nedenle protein bazlı disfaji jellerinde hedef yalnızca protein içeriğini artırmak değil; yumuşak, homojen, kontrollü parçalanabilen ve duysal olarak kabul edilebilir bir yapı geliştirmektir (Ang vd., 2022; Gao vd., 2026).

Reoloji ürünün akış ve viskoelastik özelliklerini, TPA ağızda ezilme ve mekanik parçalanma davranışını, mikroyapı ise ağ homojenliği ve faz dağılımını açıklayabilir. Ancak bu analizlerin duysal değerlendirme, kaşıktaki kalıntı, yutma kolaylığı ve klinik sınıflandırma ölçütleriyle birlikte yorumlanması daha güçlü bir değerlendirme sağlar (X. Wang vd., 2023; Paleekui vd., 2025). Böylece jel sistemleri yalnızca “uygun kıvamlı” değil, gerçek kullanım açısından güvenli ve kabul edilebilir ürünlere dönüştürülebilir.

Besin zenginleştirilmiş jel sistemleri

Besin zenginleştirilmiş jel sistemleri, özel beslenme ürünlerinde protein, enerji, vitamin, mineral veya biyoaktif bileşenlerin güvenli ve kabul edilebilir bir tekstür içinde sunulmasını sağlayabilir (Guo vd., 2024). Jel matrisleri, besin öğelerini taşımanın yanında ürüne form stabilitesi, su tutma kapasitesi ve kontrollü ağızda dağılma özellikleri kazandırabilir.

Bununla birlikte besin zenginleştirme, jel tekstürünü her zaman olumlu yönde etkilemez. Protein, mineral, lif veya biyoaktif bileşen ilavesi jel sertliğini artırabilir, ağ yapısını zayıflatabilir, ağızda pütürlü his oluşturabilir ya da aroma salınımını değiştirebilir. Nitekim X. Wang vd. (2023), tekstür modifiye disfaji ürünlerinde vitamin, mineral, tuz ve şeker takviyelerinin viskozite, G' , G'' , sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik gibi reolojik ve tekstürel parametreleri anlamlı biçimde etkilediğini göstermiştir. Bu nedenle besin takviyesinin reolojik, tekstürel ve duysal sonuçları ürün geliştirme sürecinde sistematik olarak değerlendirilmelidir.

Biyoaktif veya mikro besin ögesi taşıyan jel sistemlerinde sindirim ve salım davranışı da önem kazanır. Jel ağı, biyoaktif bileşenleri oksidasyon, pH değişimi veya işleme koşullarına karşı kısmen koruyabilir; ancak aynı ağ yapısı bileşenlerin salınımını ve biyoyararlanımını da etkileyebilir (Guo vd., 2024). β -karoten gibi mikro besin öğelerinin emülsiyon jel sistemleriyle taşınmasına yönelik çalışmalar, reoloji, mikroyapı, su dağılımı, *in vitro* sindirim ve duysal kabulün birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Hou vd., 2025a). Bu nedenle besin

zenginleştirilmiş jellerde yalnızca hedef bileşen miktarına ulaşmak yeterli değildir.

3B baskıya uygun jel bazlı gıda mürekkepleri

Jel bazlı gıda mürekkepleri, ekstrüzyon temelli 3B gıda baskısında şekil verilebilir, katman oluşturabilir ve baskı sonrası formunu koruyabilir yapılar geliştirmek için önemli platformlardır. Bu sistemlerde kesme incelmesi davranışı, uygun akma gerilimi, viskoelastik toparlanma ve katman stabilitesi baskılanabilirliği belirlerken, özel beslenme açısından baskı sonrası yutulabilirlik, ağızda parçalanma davranışı, IDDSI uygunluğu ve duyuşsal kabul de dikkate alınmalıdır (Qin vd., 2025; Yang vd., 2026). Bu nedenle jel bazlı mürekkepler, yalnızca şekil üretimi için değil; kişiselleştirilmiş tekstür, besin taşıma ve güvenli tüketim tasarımı açısından da değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, ayrıntılı baskı parametreleri, ürün tasarımı ve ürün kabulü 3B gıda baskısı kapsamında ayrıca ele alınacaktır.

Emülsiyonlar ve emülsiyon jeller: Besin yoğunluğu, ağız hissi ve biyoaktif bileşen taşıma

Emülsiyonlar ve emülsiyon jeller, özel beslenme ürünlerinde lipid fazının yapılandırılması, enerji yoğunluğunun artırılması, ağız hissinin iyileştirilmesi ve lipofilik biyoaktif bileşenlerin taşınması açısından önemli sistemlerdir. Klasik jel sistemlerinde biyopolimer ağ yapısı ve doku kontrolü ön plandayken, emülsiyon temelli sistemlerde yağ damlacıklarının boyutu, dağılımı, arayüz stabilitesi ve oral lubrikasyon davranışı ürün performansını belirleyen temel faktörler hâline gelir. Bu nedenle emülsiyonlar, özel beslenmede yalnızca yağ fazı taşıyıcıları olarak değil; yutulabilirlik, duyuşsal kalite, biyoaktif taşıma ve yapı stabilitesini birlikte düzenleyen çok işlevli gıda matrisleri olarak değerlendirilmelidir (Giura vd., 2021; Zhang vd., 2026).

Emülsiyonların özel beslenmedeki rolü

Emülsiyonlar, birbirine karışmayan iki sıvının birinin diğeri içinde damlacıklar hâlinde dağılmasıyla oluşan kolloidal sistemlerdir. Gıda uygulamalarında yağ içinde su (W/O) veya su içinde yağ (O/W) emülsiyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Özel beslenme açısından bu sistemler enerji yoğunluğunu artırmaları, yağda çözünen besin öğelerinin taşınmasını kolaylaştırmaları, aroma salınımını düzenlemeleri ve tüketim kolaylığı sağlamaları bakımından önem taşımaktadır. İştah kaybı, disfaji

veya yüksek enerji gereksinimi olan bireyler için emülsiyon bazlı ürünler, besleyici ve kabul edilebilir formülasyon geliştirmede etkili bir yaklaşım sunmaktadır (Teixé-Roig vd., 2023).

Disfaji ve yaşlı bireyler için geliştirilen emülsiyon sistemlerinde kontrollü akış davranışı ve yapısal tutarlılık ön plana çıkmaktadır. Damlacık boyutu, hacim fraksiyonu, arayüz bileşimi ve sürekli fazın reolojik özellikleri; viskozite, pürüzsüzlük ve kremamsılık algısını belirleyen başlıca parametrelerdir. Bu nedenle formülasyon sürecinde damlacık boyutu dağılımı, zeta potansiyeli, faz kararlılığı, mikroyapı ve duysal özellikler birlikte incelenmelidir. Reolojik ve tekstürel analizlerin yalnızca empirik kıvam testleriyle sınırlı tutulmaksızın ürün tasarım sürecine dahil edilmesi gerektiği de vurgulanmaktadır (Giura vd., 2021; Kupikowska-Stobba vd., 2024).

Emülsiyonlar, özel beslenme ürünlerinde oral lubrikasyon ve ağız hissini iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Lipid fazı, dil-damak yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi azaltarak kayganlık, kremamsılık ve ağız kaplama hissine katkı sağlar. Bu etkinin yalnızca yağ miktarıyla ilişkilendirilmesi yetersiz kalmakta, damlacık büyüklüğü, dağılımı, arayüz özellikleri ve tükürükle etkileşimi de algılanan pürüzsüzlük ve lubrikasyon davranışını belirlemektedir. Oral triboloji, bu çok boyutlu ilişkiyi açıklamada reolojik ölçümler ile duysal değerlendirme arasında köprü kuran önemli bir karakterizasyon aracı olarak kabul görmektedir (Araiza-Calahorra vd., 2023).

Emülsiyon jeller ve yapılandırılmış yağ fazı

Emülsiyon jeller, yağ damlacıklarının protein, polisakkarit veya karışık biyopolimerlerden oluşan bir jel ağı içinde tutulduğu yarı katı sistemlerdir. Bu yapılar, emülsiyonların lipid taşıma kapasitesini jel sistemlerinin form stabilitesi ve tekstürel kontrol işleviyle bütünleştirmektedir. Özel beslenme ürünlerinde emülsiyon jeller, enerji yoğunluğu, ağız hissi, yapısal kararlılık ve yutulabilirlik açısından çok işlevli bir matris olarak öne çıkmaktadır. Protein, polisakkarit veya karışık sistemler üzerinden yapılandırılabilimleri, tekstür tasarımı, biyoaktif bileşen taşıma ve sindirim davranışının yönlendirilmesi gibi uygulamalarda bu sistemlere geniş bir kullanım potansiyeli kazandırmaktadır (Dickinson, 2012; Abdullah vd., 2022).

Emülsiyon jellerin özel beslenme uygulamalarındaki temel üstünlüğü, yağ fazını yapılandırılmış bir matris içinde immobilize edebilmesidir. Bu bağlamda yağ damlacıkları, yalnızca enerji sağlayan bir faz olarak değil, aynı zamanda jel ağının mekanik ve reolojik davranışını modüle eden dolgu elemanları olarak da rol oynamaktadır (Dickinson, 2012). Damlacık boyutu, yağ fazı oranı, arayüz kararlılığı, emülgatör/protein türü ve sürekli faz kompozisyonu, jelin sertlik, elastikiyet, kohezivlik, su tutma kapasitesi ve ağız hissi gibi temel özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir (Mu vd., 2022; Ren vd., 2022).

Emülsiyon jellerin karakterizasyonunda reolojik analizler temel bir yer tutar. Görünür viskozite, kayma ile incelen akış davranışı, akma gerilimi, depolama modülü, kayıp modülü ve $\tan \delta$ gibi parametreler, bu sistemlerin akış ve deformasyon davranışının değerlendirilmesinde kullanılır. Özel beslenme açısından söz konusu parametreler; ürünün kaşıkla alınabilirliği, ağızda kontrol edilebilirliği, yutma öncesinde formunu koruması ve yutma sırasında aşırı direnç göstermemesi ile ilişkilidir. Balık jelatini esaslı emülsiyon jellerde γ -poliglutamik asit ilavesinin reoloji, mekanik özellikler, su tutma kapasitesi ve konfokal mikroyapıyı etkilemesi, emülsiyon jel davranışının formülasyon temelli olarak yönlendirilebileceğini göstermektedir (Xie vd., 2024).

Tekstür profil analizi ile mikroyapısal görüntüleme yöntemleri, emülsiyon jellerin özel beslenmeye uygunluğunun değerlendirilmesinde reolojik karakterizasyonu tamamlayan temel araçlardır. TPA ile sertlik, kohezivlik, adhezivite, yaylanabilirlik ve ağızda ezilme davranışı belirlenebilirken (Hou vd., 2025b); konfokal veya ışık mikroskobu, yağ damlacıklarının jel ağı içindeki dağılımını, faz ayrımı eğilimini ve ağ yapısının homojenliğini ortaya koyabilir (Dickinson, 2012). Bu analizler, emülsiyon jel sistemlerinde yağ fazı oranı ve damlacık organizasyonunun yalnızca stabiliteyi değil, ağız hissi ve yutulabilirliği de etkilediğini göstermesi açısından önem taşır. Yüksek iç fazlı emülsiyon jel-biyopolimer sistemlerinde yağ tipi ile yağ fazı oranının reolojik davranış, mikroyapı ve 3B baskı performansı üzerinde eş zamanlı etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Wang vd., 2024).

Yağ azaltılmış ürünlerde ağız hissinin iyileştirilmesi

Yağ, gıda sistemlerinde yalnızca enerji sağlayan bir bileşen değil, aynı zamanda ürünün kremamsılık, kayganlık, ağız kaplama hissi, aroma

salınımı ve genel duyuşsal kabul gibi niteliklerini belirleyen temel bir yapısal unsurdur. Bu nedenle özel beslenme amaçlı ürünlerde yağın azaltılması, yalnızca enerji içeriğinin düşürölmesiyle sınırlı olmayıp, yağın sağladığı tekstürel ve duyuşsal özelliklerin de korunmasını gerekli kılmaktadır (Ren vd., 2022).

Yağ azaltılmış ürünlerde ağız hissinin değeriendirilmesinde görünür viskozite ve sertlik gibi klasik parametreler tek başına yeterli değildir. Oral işlem sırasında gıda, dil, damak, yanak yüzeyi ve tükürükle sürekli etkileşime girdiği için, kayganlık, sürtünme, ağız kaplama ve pürüzsüzlük algısı bu çok bileşenli süreç içinde şekillenmektedir. Bu nedenle lipid bazlı sistemlerde tribolojik etkileşimlerin incelenmesi, ağız hissinin daha doğru anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Güncel çalışmalar da gıda yapısı, tükürük etkileşimleri ve sürtünme davranışı arasındaki ilişkinin, özellikle yaşlı bireylere yönelik ürünlerin tasarımında oral tribolojiyi tamamlayıcı bir yaklaşım hâline getirdiğini göstermektedir (Xu vd., 2022).

Schädle vd. (2022), yağ miktarı azaltılmış model emülsiyonlar üzerinde yaptıkları çalışmada reoloji, triboloji ve aroma salınımını birlikte incelemiştir. Bulgular, yağ azaltımının ve yağ ikamesinin yalnızca ürünün akış özelliklerini değil; aynı zamanda sürtünme davranışını ve aroma salınım profilini de etkileyebildiğini ortaya koymaktadır. Mu vd. (2022) emülsiyon dolgu jellerde gerçekleştirdiği çalışmada, yağ içeriğindeki değişimlerin reolojik özelliklerin yanı sıra tribolojik davranışı da etkilediğini ve bu parametrelerin kremamsı ağız hissiyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Biyoaktif bileşen ve vitamin taşıma

Emülsiyon sistemleri, yalnızca yağ azaltımına bağlı duyuşsal kayıpların yönetiminde değil, aynı zamanda lipofilik vitaminler ve çeşitli biyoaktif bileşenlerin ürüne kazandırılmasında da işlevsel bir taşıyıcı platform olarak önem taşımaktadır. A, D, E ve K vitaminleri, karotenoidler, omega-3 yağ asitleri, fitosteroller, kurkumin, koenzim Q10 ve bazı fenolik bileşikler, düşük sulu çözünürlük, oksidatif kararsızlık ve sınırlı biyoyararlanım gibi nedenlerle formülasyonda güçlük yaratabilmektedir. Emülsiyonlar ise bu bileşenlerin yağ fazında çözündürölmesini, gıda matrisi içinde homojen biçimde dağıtılmasını, çevresel etkilere karşı korunmasını ve sindirim sürecindeki salınımın desteklenmesini mümkün kılmaktadır (McClements, 2010; McClements & Rao, 2011).

Biyoaktif bileşen taşıyan emülsiyonların tasarımında damlacık boyutu, arayüz yapısı, emülgatör tipi, oksidatif stabilite, enkapsülasyon verimi, lipid sindirimi ve salım davranışı temel belirleyiciler arasında yer alır. Küçük damlacık boyutu, bazı lipofilik bileşenlerde biyoerişilebilirliği artırmakla birlikte, bu etki emülgatörün niteliği, arayüz tabakasının özellikleri ve gıda matrisinin bileşimi tarafından şekillendirilmektedir. Buna karşılık emülsiyon jeller, yağ damlacıklarını jel matrisi içinde daha kararlı biçimde tutarak faz ayrımı riskini azaltmakta ve özel beslenme ürünlerinde kontrollü, yarı katı ve kaşıkla tüketilebilir sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Dickinson, 2012).

N. Wang vd. (2023) tarafından yürütülen bir çalışmada, whey protein izolatı-hyaluronik asit temelli emülsiyon jel matrisinin kuersetinin biyoerişilebilirliğini ve *in vitro* sindirim davranışını etkileyebildiği gösterilmiştir. Bu bulgu, emülsiyon jellerin yalnızca fiziksel stabilite sağlayan sistemler olmadığını; aynı zamanda sindirim sırasında biyoaktif bileşenlerin salımını düzenleyebilen işlevsel taşıyıcılar olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir. Drosou & Krokida (2024) ise β -karotenin pullulan ve whey protein izolatı kullanılarak enkapsülasyonunda, proses koşulları ve duvar materyali konsantrasyonunun enkapsülasyon verimi ile ürün özellikleri üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, taşıyıcı sistem tasarımında yalnızca aktif bileşenin korunması ve salım performansının değil; ürünün renk, aroma ve genel duyu kalite üzerindeki olası etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Klinik ve yaşlı beslenmesinde enerji yoğunluğu artırma

Klinik beslenme ve yaşlı beslenmesinde enerji ve besin ögesi alımının desteklenmesi, sınırlı oral kapasiteye rağmen karşılanması gereken temel bir gereksinimdir. İştah azalması, disfaji ve küçük porsiyon tüketimi gibi durumlarda yüksek besin yoğunluklu ürünlerin önemi artmaktadır. Emülsiyonlar ve emülsiyon jeller, lipid fazı aracılığıyla küçük hacimlerde yeterli enerji sağlarken ağız hissi ve duyu kalite kabul edilebilirliği de destekleyebilmektedir. Bu nedenle protein bazlı emülsiyon sistemleri, yaşlı disfaji bireylere yönelik reolojik olarak uyarlanabilir ve besleyici ürünlerin geliştirilmesinde işlevsel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Zhang vd., 2026).

Hou vd. (2025a), yumurta sarısı–karboksimetil selüloz temelli emülsiyon jellerini β -karoten taşıma ve disfajiye uygun reolojik özellikler açısından birlikte ele almış; karboksimetil selüloz ilavesinin psödoplastik davranışı ve düşük kayma hızındaki viskoziteyi artırarak yutulabilir bir yapı oluşturabildiğini göstermiştir. Bu çalışma, emülsiyon jellerin enerji ve besin ögesi taşımanın yanı sıra reolojik olarak tasarlanmış disfaji dostu ürünlerin geliştirilmesinde de işlevsel bir platform sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, klinik ve yaşlı beslenmesine yönelik enerji yoğunluğu artırılmış emülsiyon jel sistemlerinde teknolojik yeterliliğin sağlanması, yüksek lipid içeriğinin yanı sıra oksidatif stabilite, duyuusal kabul edilebilirlik ve uzun süreli tüketime uygunluk parametrelerinin bütüncül bir formülasyon stratejisi çerçevesinde optimize edilmesini gerektirmektedir (McClements, 2010; Dickinson, 2012; Wang vd., 2024).

Köpük sistemleri: hafif yapı, hidrasyon ve ağız hissi tasarımı

Gıda köpüklerinin yapısal özellikleri

Gıda köpüklerinin yapısal performansı, gaz fazı oranı, hacim artış oranı, kabarcık boyutu ve dağılımı ile sürekli fazın viskoelastik özellikleriyle belirlenmektedir (Murray, 2007; Zhan vd., 2022). Homojen ve küçük kabarcıklar pürüzsüz ağız hissi ve yapısal denge sağlarken, büyük veya heterojen kabarcıklar, drenajı hızlandırarak köpük destabilizasyonu ve hacim kaybı riskini artırmaktadır (Murray, 2007; Minor vd., 2009). Sürekli fazın viskoelastik yapısı kabarcık kararlılığını, drenaj hızını ve köpük ömrünü doğrudan etkilediğinden özel beslenme ürünlerinde temel bir tasarım parametresi olarak ele alınmalıdır (Briceño-Ahumada vd., 2022). Bu nedenle köpük sistemlerinde yalnızca hava alım miktarı değil, havanın matris içindeki kararlılığı ve tüketim boyunca korunabilirliği de birlikte değerlendirilmelidir (Briceño-Ahumada vd., 2022; Zhan vd., 2022).

Köpük stabilitesini belirleyen başlıca fiziksel süreçler drenaj, kabarcık birleşmesi ve gaz difüzyonuna bağlı kabarcık irileşmesidir. Drenaj sırasında kabarcıklar arasındaki sıvı faz, yerçekimi ve kapiler kuvvetlerin etkisiyle aşağı doğru hareket ederek köpüğün üst kısmında kurumaya, alt kısmında ise serbest sıvı birikimine yol açmaktadır. Kabarcık birleşmesi ve Ostwald olgunlaşması ise köpük yapısının giderek iri, heterojen ve kırılğan bir hal almasına neden olmaktadır (Dickinson, 2010). Bu mekanizmalar, özellikle disfajiye yönelik ürünlerde yalnızca tekstürel

kalite kaybına değil, tüketim sırasında yutma güvenliğini tehlikeye atabilecek yapısal değişimlere de zemin hazırlayabilmektedir (Dickinson, 2010; Hu & Meng, 2024).

Protein ve polisakkaritlerin köpük stabilitesindeki rolü

Proteinler, amfifilik yapıları aracılığıyla hava-su arayüzüne adsorbe olarak yüzey gerilimini düşürür ve kabarcık çevresinde viskoelastik bir film oluşturur (Murray, 2007). Yumurta beyazı, süt proteinleri, jelatin, soya ve bezelye proteini bu işlev için en yaygın kullanılan kaynaklardır. Protein kaynaklı köpüklerde stabilite, arayüz filminin viskoelastik dayanımı ve sürekli fazın reolojik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Dickinson, 2010). Güncel çalışmalar, soya protein izolatu-polisakkarit komplekslerinde arayüz davranışı ve köpük reolojisinin stabilite üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Murray, 2007; Han vd., 2024).

Bununla birlikte özel beslenme uygulamalarında yalnızca köpürme stabilitesi yeterli olmayıp köpüğün tüketim süresince yapısal bütünlüğünü ve homojen ağız hissini koruması da temel tasarım gereklilikleri arasında yer almaktadır. Polisakkaritler, sürekli fazın viskozitesini artırarak drenajı yavaşlatır ve protein-polisakkarit etkileşimleri aracılığıyla arayüz filminin mekanik özelliklerini değiştirebilir (Zhan vd., 2022; Hu & Meng, 2024). Ksantan gam, karragenan, alginat ve selüloz türevleri gibi hidrokolloidler kabarcık hareketliliğini kısıtlayarak köpük stabilitesini artırabilmekle birlikte bu etki konsantrasyon, molekül ağırlığı, pH ve etkileşim tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aşırı viskozite artışının ağızda kolay dağılmayı engelleyebileceği veya yapışkanlık hissini artırabileceği göz önüne alındığında, stabilite ile oral kabul arasındaki dengenin dikkatli biçimde yönetilmesi gerekmektedir (Briceño-Ahumada vd., 2022).

Özel beslenmeye yönelik köpük sistemlerinde protein-polisakkarit kombinasyonları, yalnızca teknolojik stabilite açısından değil, kişiselleştirilmiş ürün tasarımı bakımından da önem taşımaktadır. Proteinler köpürme kapasitesi ve besinsel katkı sağlarken, hidrokolloidler drenajı azaltabilir, sürekli fazı güçlendirebilir ve 3B baskı gibi yeni üretim yaklaşımlarında şekil stabilitesini destekleyebilir (Lee vd., 2021; Zhan vd., 2022).

Hafif ağız hissi ve kolay tüketim

Köpük sistemleri, havalandırılmış yapıları sayesinde ürünün yoğunluğunu, sertliğini ve ağızda algılanan mekanik direncini azaltarak

hafif ve kolay dağılılabilen bir ağız hissi oluşturabilmektedir (Minor vd., 2009; Zhan vd., 2022). Bu özellik, iştah azalması veya çiğneme güçlüğü yaşayan yaşlı bireyler için önemli bir tasarım avantajı sunmaktadır. Yumuşak, pürüzsüz ve görsel açıdan kabul edilebilir ürünlerin yaşlı bireylerde tüketim davranışını destekleyebildiği de göz önünde bulundurulduğunda, köpük sistemleri bu hedef kitle için işlevsel bir formülasyon aracı olarak değerlendirilmelidir (Liu vd., 2022).

Köpüklerin ağız hissi; kabarcık patlaması, sürekli fazın kayganlığı, tükürükle etkileşim ve parçalanma sonrası yapı gibi çok bileşenli süreçlerle şekillenmektedir (Xu vd., 2022). Köpüklendirilmiş püreler üzerine yapılan güncel bir çalışmada, gaz ilavesinin pürelerin viskozite, sertlik ve kıvam özelliklerini azalttığı; buna karşın köpüklendirilmiş pürelerin oral işlem süresini uzattığı ve yeme hızını düşürdüğü bildirilmiştir (Baixauli vd., 2025). Bu bulgu, köpükleştirmenin her koşulda daha hızlı tüketim sağlamadığını, oral işlem süresi, yutma konforu ve porsiyon tüketimi üzerindeki etkilerin ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Köpük sistemlerinde ağız hissinin değerlendirilmesinde reoloji, triboloji ve duyu analizlerin birlikte kullanılması, yalnızca kıvam hedefinin ötesinde pürüzsüzlük, kayganlık ve yutma konforu gibi çok boyutlu gereksinimlerin karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle özel beslenmeye yönelik köpüklerde hedef kıvama ulaşmak tek başına yeterli olmayıp ağızda pürüzsüzlük, kayganlık, kalıntı hissi ve homojen yutma davranışının da tasarım sürecinde gözetilmesi gerekmektedir. Hidrokolloidlerle stabilize edilen 3B baskılı köpükler bu bağlamda, kişiselleştirilmiş ağız hissi tasarımı ve yapılandırılmış hidrasyon desteği açısından önemli bir araştırma potansiyeli sunmaktadır (Lee vd., 2021; Hu & Meng, 2024).

Köpük stabilitesi, sıvı ayrılması ve yutma güvenliği

Köpük stabilitesi, özel beslenme uygulamalarında yalnızca bir kalite göstergesi değil, aynı zamanda yutma güvenliğini doğrudan etkileyen bir tasarım parametresidir. Drenaj veya kabarcık çıkması sonucu oluşan sıvı faz ayrılması, disfaji bireylerinde aspirasyon riskini arttırabilecek kontrolsüz sıvı akışına zemin hazırlayabilmektedir. Bu nedenle köpük sistemlerinin stabilitesi, hacim artış oranı drenaj, kabarcık boyutu,

mikroyapı ve reolojik değişimler birlikte izlenerek değerlendirilmelidir (Murray, 2007; Hu & Meng, 2024).

Köpük-jel hibrit sistemler, sıvı ayrılması ve yapı kaybını sınırlamada önemli bir formülasyon yaklaşımı sunmaktadır. Bu sistemlerde gaz kabarcıklarının jel benzeri bir sürekli faz içinde tutulması, drenajı yavaşlatabilmekte, kabarcık birleşmesini azaltabilmekte ve ürüne daha kontrollü bir ağızda dağılma davranışı kazandırabilmektedir (Lee vd., 2021; Zhang vd., 2025). Alkali-ısı işlemiyle modifiye edilen yumurta beyazı protein agregatlarından geliştirilen hidrojel köpüklerde yüksek köpük stabilitesi ve Ca^{2+} ile indüklenen soğuk jel oluşumu bildirilmiştir (Zhang vd., 2025). Benzer biçimde hidrokolloid destekli 3B baskılı köpüklerde ksantan gam ilavesinin su salımını azalttığı, köpük stabilitesini artırdığı ve baskılanabilirliği desteklediği gösterilmiştir (Lee vd., 2021).

Köpük sistemleri, özel beslenmede hafif yapı, ağız hissi ve hidrasyon desteği gibi çok yönlü avantajlar sunabilmekle birlikte, bu potansiyelin gerçekleşmesi yapısal stabilite, sıvı ayrılmasının kontrolü ve yutma güvenliğinin birlikte sağlanmasına bağlıdır. Bu nedenle gıda mühendisliği açısından köpük sistemlerinin, formülasyon, arayüz bilimi, reoloji, mikroyapı, oral triboloji ve duyuşsal kabulün birlikte optimize edildiği çok disiplinli bir tasarım anlayışıyla geliştirilmesi gerekmektedir (Xu vd., 2022; Baixauli vd., 2025).

3B gıda baskısı ile kişiselleştirilmiş beslenme ve tekstür tasarımı

3B gıda baskısı, dijital olarak tasarlanmış bir modelin yenilebilir materyaller aracılığıyla katman katman fiziksel ürüne dönüştürüldüğü yenilikçi bir üretim teknolojisidir (Sun vd., 2015; Derossi vd., 2024). Besin bileşimi, tekstür, şekil ve porsiyon büyüklüğünün bireysel gereksinimlere göre özelleştirilebilmesi, bu teknolojiyi özellikle yaşlı bireyler ve disfaji hastaları için önem taşıyan bir platform haline getirmektedir (Lorenz vd., 2022; Molimi vd., 2025).

3B gıda baskısının temel prensibi

3B gıda baskısının temel prensibi, bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan üç boyutlu modelin yenilebilir materyaller aracılığıyla katmanlı üretim yaklaşımıyla fiziksel gıda formuna dönüştürülmesidir (Sun vd., 2015). Gıda uygulamalarında ekstrüzyon temelli 3B baskı;

püreler, jeller, hamurlar, emülsiyon jeller ve kıvamlandırılmış matrisler gibi yarı katı sistemler için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Godoi vd., 2016; Derossi vd., 2024). Bu yöntemde gıda mürekkebi nozuldan kontrollü biçimde ekstrüde edilir, katmanlar halinde biriktirilir ve hedeflenen geometri oluşturulur.

Başarılı bir baskı için mürekkebin nozuldan geçerken yeterli akışkanlık göstermesi, nozuldan çıktıktan sonra ise katmanların çökmesini, yayılmasını veya form kaybını önleyecek kadar yapısal dayanım sergilemesi gerekir (Qin vd., 2025). Bu nedenle viskozite, akma gerilimi, kayma incilmesi davranışı, tiksotropik toparlanma, elastik modül, faz stabilitesi ve partikül homojenliği baskı kalitesi üzerinde belirleyici parametrelerdir (Tejada-Ortigoza & Cuan-Urquizo, 2022). Nozul çapı, ekstrüzyon basıncı, baskı hızı, katman yüksekliği, dolgu oranı, baskı sıcaklığı, soğutma koşulları ve baskı sonrası jelasyon işlemleri boyutsal doğruluk, katman bütünlüğü, yüzey düzgünlüğü ve tekstürel davranışı etkileyebilir (Derossi vd., 2024).

Özel beslenme ürünlerinde bu parametreler yalnızca teknik baskı kalitesi açısından değil, kaşıkla alınabilirlik, ağızda ezilebilirlik, nemlilik, yapışkanlık ve yutma konforu açısından da değerlendirilmelidir (Molimi vd., 2025). Bu nedenle 3B baskı süresinde temel hedef, yalnızca geometrik olarak başarılı bir ürün elde etmek değil, baskılanabilirlik ile tüketim güvenliği ve duyuşsal kabul arasında uygun bir denge kurmaktır.

Kişiselleştirilmiş beslenme ile ilişkisi

3B gıda baskısının özel beslenme açısından en önemli katkılarından biri, ürünün besin bileşimi, porsiyon büyüklüğü, tekstürü ve görsel formunun bireysel gereksinimlere göre düzenlenebilmesidir (Derossi vd., 2024). Bu teknoloji, protein, enerji, lif, yağ asidi profili, vitamin ve mineral içeriğinin hedeflenmesi, porsiyonun bireyin iştah ve tüketim kapasitesine göre belirlenmesi ve ürün yapısının yutma fonksiyonuna uygun şekilde tasarlanması için kullanılabilir (Chao vd., 2024). Bu yaklaşım özellikle disfaji, malnütrisyon riski, iştah azalması ve çiğneme-yutma güçlüğü bulunan yaşlı bireylerde önem taşımaktadır.

Kişiselleştirilmiş beslenmede 3B baskının değeri yalnızca besin ögesi kompozisyonunun değiştirilmesinden değil, hedef tekstürün kontrollü biçimde oluşturulabilmesinden de kaynaklanır. Aynı gıda matrisi, protein, nişasta, hidrokolloid, yağ fazı veya lif oranı değiştirilerek farklı sertlik,

kohezivlik, viskozite, yapışkanlık ve ağızda dağılma özelliklerine sahip ürünlere dönüştürülebilir (Tejada-Ortigoza & Cuan-Urquizo, 2022). Bu nedenle 3B baskı, yalnızca şekillendirme değil, baskılanabilirlik, IDDSI düzeyi, yutulabilirlik, besinsel uygunluk ve duyuşsal kabulün birlikte ele alındığı kontrollü bir tekstür mühendisliği aracı olarak değerlendirilmelidir (Molimi vd., 2025; Shao vd., 2025).

Disfaji ve yaşlı beslenmesinde 3B baskı

3B gıda baskısı, disfaji ve yaşlı beslenmesinde tekstür modifiye gıdaların daha standart, kişiselleştirilebilir ve görsel olarak kabul edilebilir formlarda sunulması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır (Chao vd., 2024). Geleneksel püre veya kıvamlandırılmış ürünler güvenli yutma için gerekli olmakla birlikte, çoğu zaman orijinal gıdanın görsel formunu ve tüketim deneyimini sınırlandırır (Lorenz vd., 2022). 3B baskı, püre, jel, emülsiyon jel veya yumuşak kıvamlı matrislerin tanınabilir geometrilerde yeniden yapılandırılmasına olanak sağlayarak ürünün yalnızca tekstürünü değil, sunum kalitesini ve tüketim motivasyonunu da destekleyebilir (Pant vd., 2021).

Yüksek iç fazlı emülsiyonlar ve emülsiyon jeller, 3B gıda baskısı uygulamalarında hem yüksek enerji yoğunluğu hem de şekil kararlılığı sağlayabilmeleri nedeniyle öne çıkmaktadır (Qin vd., 2025). Bu yapılar da yağ fazı, protein ve/veya polisakkarit temelli arayüz ve jel ağlarıyla stabilize edilerek yarı katı bir matris içinde tutulabilir (Dickinson, 2012; Meng & Miao, 2026). Ancak yüksek yağ hacim fraksiyonu, damlacık birleşmesi, krema oluşumu ve faz ayrımı gibi fiziksel stabilite sorunlarını arttırabileceğinden, formülasyonun dikkatli biçimde tasarlanması gerekir (McClements, 2010; Kupikowska-Stobba vd., 2024). Hou vd. (2025b), baskı sonrası jelasyon yaklaşımının bu sistemlerde şekil doğruluğunu, yapısal toparlanmayı ve viskoelastik davranışı iyileştirebildiğini göstermiştir.

Emülsiyon bazlı mürekkeplerde temel gereklilik, nozuldan geçişte yeterli akışkanlık ve baskı sonrasında katman stabilitesinin birlikte sağlanmasıdır. Bu özellikler, kayma ile incelen akış davranışı, akma gerilimi ve viskoelastik toparlanma kapasitesiyle yakından ilişkilidir (Liu vd., 2017). Lipid fazının hacim oranı, damlacık boyutu ve arayüz stabilitesi mürekkep reolojisini ve baskı performansını belirlerken (Dickinson, 2012),

sürekli faz bileşimi ve biyopolimer ağ tasarımı da baskılanabilirlik üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Lille vd., 2018).

Gıda mürekkebi tasarımı, baskılanabilirlik ve yutulabilirlik

3B gıda baskısında ürün başarısının temel belirleyicilerinden biri, kullanılan gıda mürekkebinin baskı sırasında akabilecek, baskı sonrasında ise formunu koruyabilecek bir yapıya sahip olmasıdır. Bu nedenle mürekkep nozuldan geçerken yeterli akışkanlık göstermeli; nozuldan çıktıktan sonra ise yayılma, çökme veya katman bozulmasını önleyecek düzeyde yapısal dayanım sergilemelidir (Qin vd., 2025). Görünür viskozite, kayma incilmesi davranışı, akma gerilimi, tiksotropik toparlanma, elastik/viskoz modüller, partikül boyutu, su tutma kapasitesi ve faz stabilitesi bu dengeyi belirleyen başlıca parametrelerdir (Tejada-Ortigoza & Cuan-Urquiza, 2022).

Disfajiye yönelik 3B baskı uygulamalarında temel tasarım sorunu, baskılanabilirlik ile yutulabilirlik arasında uygun bir denge kurmaktır. Şekli iyi koruyan bir mürekkep genellikle yeterli akma gerilimi, elastik yapı ve toparlanma kapasitesi gerektirir; ancak bu özelliklerin aşırı artması ürünün ağızda parçalanmasını ve yutulmasını zorlaştırabilir (Yang vd., 2026). Buna karşılık çok yumuşak veya düşük dayanımlı sistemler ağızda kolay dağılabilir de baskı sonrasında katman bütünlüğünü koruyamayabilir. Bu nedenle özel beslenmeye uygun 3B baskılı ürünler, baskı sonrası geometrisini koruyacak kadar dayanıklı; tüketim sırasında ise dil-damak basıncıyla kontrollü şekilde dağılabilecek kadar yumuşak, nemli ve kohezif olmalıdır (Chao vd., 2024; Yang vd., 2026).

Baskı performansının değerlendirilmesi yalnızca görsel şekil uygunluğuyla sınırlı tutulmamalıdır. Katman yüksekliği, katman genişliği, yüzey düzgünlüğü, boyutsal sapma ve şekil koruma kapasitesi görüntü analiziyle; sertlik, kohezivlik, adhezivite ve ağızda ezilme davranışı tekstür profil analiziyle; hedeflenen disfaji düzeyine uygunluk ise IDDSI protokolleriyle sistematik olarak belirlenmelidir (García-Gutiérrez vd., 2025; Molimi vd., 2025). Öte yandan nozul çapı, baskı hızı, ekstrüzyon basıncı, katman yüksekliği, dolgu deseni ve sıcaklık gibi proses parametreleri aynı formülasyondan farklı yapısal çıktılar üretilebileceğinden, formülasyon optimizasyonu bu değişkenlerden bağımsız ele alınmamalıdır (Tejada-Ortigoza & Cuan-Urquiza, 2022).

Görsel çekicilik, tüketici kabulü ve uygulamaya aktarım

3B gıda baskısının özel beslenme ürünlerindeki en dikkat çekici katkılarından biri, püre veya şekilsiz tekstür modifiye gıdaların daha tanınabilir, porsiyonlanmış ve görsel olarak çekici formlarda sunulabilmesidir (Lorenz vd., 2022). Bu yaklaşım, tekstür modifikasyonu nedeniyle orijinal görünümünü kaybeden bir gıda matrisinin 3B baskı aracılığıyla tüketiciye tanıdık gelecek bir şekil, renk ve porsiyon düzeninde yeniden sunulmasına olanak sağlayarak yeme motivasyonunu destekleyebilir (Smith vd., 2022; Chao vd., 2024). Bununla birlikte, görsel olarak başarılı bir ürünün kabul edilebilir olması için yalnızca orijinal şekle benzemesi yeterli değildir; lezzet, koku, ağız hissi, pürüzsüzlük, nemlilik ve yutulabilirlik de korunmalıdır (Derossi vd., 2024).

Bu nedenle 3B baskılı özel beslenme ürünlerinde tüketici kabulü çok boyutlu değerlendirilmelidir. Görünüm, renk, porsiyon büyüklüğü ve şekil tanınabilirliği ilk kabulü etkileyebilirken; ağızda dağılım, yapışkanlık, kalıntı hissi, pürüzsüzlük, aroma salınımı ve yutma konforu tüketim sonrası kabulü belirler (Molimi vd., 2025). Duyusal analizler yalnızca genel beğeni puanlarıyla sınırlı kalmamalı; ağız hissi, yutma kolaylığı, tüketim isteği, tekrar tüketme niyeti ve bakım veren değerlendirmesi gibi parametreleri de içermelidir. Ayrıca bakım ortamlarında uygulanabilirlik için kullanım kolaylığı, hazırlama süresi, cihaz maliyeti, temizlik, hijyen, hasta güvenliği ve öğün rutinlerine entegrasyon gibi faktörler de dikkate alınmalıdır (Smith vd., 2024; Shao vd., 2025).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Özel beslenme ürünlerinde gıda dokusu mühendisliği, yalnızca ürünün kıvamının artırılması veya daha yumuşak hâle getirilmesiyle sınırlı değildir; güvenli yutma, yeterli besin alımı, lezzet, ağız hissi, görsel kabul ve yaşam kalitesinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir tasarım yaklaşımıdır. Disfaji, yaşlılık, çiğneme-yutma güçlüğü ve özel tıbbi beslenme gereksinimleri bulunan bireylerde ürün başarısı, yalnızca besin bileşimi ile değil, oral işlem sırasında oluşan bolusun reolojik, tekstürel ve duysal özellikleriyle de ilişkilidir. Bu nedenle özel beslenme ürünlerinde hedef, güvenli yutulabilen ancak aynı zamanda besleyici, lezzetli, görsel olarak kabul edilebilir ve sürdürülebilir biçimde tüketilebilen ürünlerin geliştirilmesi olmalıdır.

Bu bölümde değerlendirilen tekstür modifiye gıdalar, jelleşme sistemleri, emülsiyonlar, emülsiyon jeller, köpük sistemleri ve 3B gıda baskısı yaklaşımları, özel beslenme ürünlerinde yapı tasarımı açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Jel sistemleri kontrollü doku, form stabilitesi ve bolus bütünlüğü sağlarken; emülsiyon ve emülsiyon jel sistemleri enerji yoğunluğu, ağız hissi ve lipofilik biyoaktif bileşenlerin taşınması açısından değerli platformlar oluşturmaktadır. Köpük sistemleri hafif ve kolay tüketilebilir yapıların geliştirilmesine katkı sağlayabilirken, 3B gıda baskısı kişiselleştirilmiş beslenme, hedef tekstür tasarımı ve görsel olarak daha kabul edilebilir ürünlerin üretimi açısından dikkat çekici bir potansiyel taşımaktadır.

Bununla birlikte mevcut yaklaşımların bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Birçok teknoloji hâlen laboratuvar ölçeğinde geliştirilmekte ve klinik ya da bakım ortamlarındaki uygulanabilirliği sınırlı düzeyde doğrulanmaktadır. Özellikle 3B baskılı ürünler, emülsiyon jel bazlı sistemler ve köpük yapılar için baskılanabilirlik, şekil stabilitesi, raf ömrü, mikrobiyal güvenlik, hazırlama süresi, cihaz maliyeti, bakım verenlerin kullanımı ve hasta kabulü gibi pratik faktörlerin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca ürünlerin yalnızca başlangıç tekstürü değil, tükürükle karışma, oral işlem, bolus oluşumu, yutma sonrası kalıntı ve sindirim sürecindeki davranışları da dikkate alınmalıdır.

Gelecek çalışmalarda reoloji, triboloji, tekstür analizi, mikroyapı, *in vitro* oral işleme modelleri, duyuşal değerlendirme ve klinik doğrulama çalışmalarını birlikte ele alan bütünleşik tasarım yaklaşımlarına odaklanılması önem taşımaktadır. Yaşlı bireyler, disfaji hastaları, bakım verenler, diyetisyenler, klinisyenler ve gıda mühendislerinin birlikte yer aldığı disiplinler arası çalışmalar, geliştirilen ürünlerin yalnızca teknik olarak uygun değil, gerçek yaşam koşullarında kabul edilebilir ve uygulanabilir olmasına katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda özel beslenme ürünlerinde gelecekteki temel hedef, standartlaştırılmış ancak kişiselleştirilebilir, güvenli ancak duyuşal açıdan tatmin edici, besleyici ancak kolay tüketilebilir gıda yapılarının geliştirilmesi olmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdullah, Liu, L., Javed, H. U. & Xiao, J. (2022). Engineering emulsion gels as functional colloids emphasizing food applications: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 890188. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.890188>.
- Ang, C. L., Goh, K. K. T., Lim, K. & Matia-Merino, L. (2022). High-protein foods for dysphagia: Manipulation of mechanical and microstructural properties of whey protein gels using de-structured starch and salts. *Gels*, 8, 399. <https://doi.org/10.3390/gels8070399>.
- Araiza-Calahorra, A., Mackie, A. R., Feron, G. & Sarkar, A. (2023). Can tribology be a tool to help tailor food for elderly population? *Current Opinion in Food Science*, 49, 100968. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100968>.
- Baixauli, R., Tárrega, A., Hernando, I. & Laguna, L. (2025). Foaming purees as a strategy to modify oral processing time. *Current Research in Food Science*, 10, 100962. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2024.100962>.
- Briceño-Ahumada, Z., Mikhailovskaya, A. & Staton, J. A. (2022). The role of continuous phase rheology on the stabilization of edible foams: A review. *Physics of Fluids*, 34(3). <https://doi.org/10.1063/5.0078851>.
- Chao, C., Nam, H. K., Park, H. J. & Kim, H. W. (2024). Potentials of 3D printing in nutritional and textural customization of personalized food for elderly with dysphagia. *Applied Biological Chemistry*, 67(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13765-023-00854-7>.
- Chen, X., Zhang, W., Quek, S. Y. & Zhao, L. (2023). Flavor-food ingredient interactions in fortified or reformulated novel food: Binding behaviors, manipulation strategies, sensory impacts, and future trends in delicious and healthy food design. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(5), 4004-4029.
- Chen, M., Duan, J., Cheng, Y., Yan, J., Shi, L., & Yuan, L. (2026). Comparative Study on the Hardness, Adhesiveness, and Cohesiveness of Ingredients on the Basis of IDDSI Levels and Ingredient Selection. *Food Science & Nutrition*, 14(1), e71467.
- Cichero, J. A. Y., Lam, P., Steele, C. M., Hanson, B., Chen, J., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Kayashita, J., Lecko, C., Murray, J., Pillay, M., Riquelme, L. & Stanschus, S. (2017). Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia management: *The IDDSI framework*. *Dysphagia*, 32(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9758-y>.
- Côté, C., Giroux, A., Villeneuve-Rhéaume, A., Gagnon, C. & Germain, I. (2020). Is IDDSI an evidence-based framework? A relevant question for the frail older population. *Geriatrics*, 5(4), 82. <https://doi.org/10.3390/geriatrics5040082>.
- de Villiers, M., Hanson, B., Moodley, L. & Pillay, M. (2020). The impact of modification techniques on the rheological properties of dysphagia foods and liquids. *Journal of Texture Studies*, 51(1), 154-168. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12476>.
- Derossi, A., Spence, C., Corradini, M. G., Jekle, M., Fahmy, A. R., Caporizzi, R., Devahastin, S., Moses, J. A., Le-Bail, A., Zhou, W., Zhang, M., Bhandari, B. & Severini, C. (2024). Personalized, digitally designed 3D printed food towards the reshaping of food manufacturing and consumption. *NPJ Science of Food*, 8, 54. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00296-5>.
- Dickinson, E. (2010). Food emulsions and foams: Stabilization by particles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1-2), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.11.001>.
- Dickinson, E. (2012). Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.017>.
- Dong, Y., Dai, J., Han, J., Zhang, Y., Xu, Z., Jiang, L., Lan, T. & Sui, X. (2025). Dysphagia foods: Current research, technological innovations, and future directions. *Trends in Food Science & Technology*, 165, 105330. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105330>.

- Drosou, C. & Krokida, M. (2024). A comparative study of encapsulation of β -carotene via spray-drying and freeze-drying techniques using pullulan and whey protein isolate as wall material. *Foods*, 13(12), 1933. <https://doi.org/10.3390/foods13121933>.
- European Commission. (2013). Regulation (EU) No 609/2013 of the European Parliament and of the Council on food intended for infants and young children, food for special medical purposes, and total diet replacement for weight control. *Official Journal of the European Union*, L 181, 35-56. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/609/oj> (E.T.: Erişim 19.05.2026).
- Fizman, S. & Laguna, L. (2023). Food design for safer swallowing: Focusing on texture-modified diets and sensory stimulation of swallowing via TRP activation. *Current Opinion in Food Science*, 49, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101000>.
- Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1904-1914.
- Gao, W., Wang, Z., Zhao, Z., Deng, Y., Wang, J., Zhou, P., Li, P., Zhang, Y., Zhang, M. & Liu, G. (2026). The influence of polysaccharides on the textural properties and water retention capacity of animal-plant dual-protein gels. *Gels*, 12, 40. <https://doi.org/10.3390/gels12010040>.
- García-Gutiérrez, D., Ayala Márquez, B., Gironés García, X., Molero Muñoz, A., García-Salido, C., Ramírez-Baraldes, E. & Jiménez-Pérez, Y. (2025). Integration of the IDDSI scale into 3D food printing: A strategy to improve food safety and quality of life for people with dysphagia. *Nutrients*, 17, 3925. <https://doi.org/10.3390/nu17243925>.
- Giura, L., Urtasun, L., Astiasaran, I. & Ansorena, D. (2023). Application of HPP for the development of a dessert elaborated with casein and cocoa for a dysphagia diet. *Foods*, 12(4), 882. <https://doi.org/10.3390/foods12040882>.
- Giura, L., Urtasun, L., Belarra, A., Ansorena, D. & Astiasarán, I. (2021). Exploring tools for designing dysphagia-friendly foods: A review. *Foods*, 10(6), 1334. <https://doi.org/10.3390/foods10061334>.
- Godoi, F. C., Prakash, S. & Bhandari, B. R. (2016). 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.
- Guo, Y., Ma, C., Xu, Y., Du, L. & Yang, X. (2024). Food gels based on polysaccharide and protein: Preparation, formation mechanisms, and delivery of bioactive substances. *Gels*, 10, 735. <https://doi.org/10.3390/gels10110735>.
- Han, Y., Zhu, L., Zhang, H., Liu, T. & Wu, G. (2024). Understanding the foam stability mechanisms of complex formed by soy protein isolate and different charged polysaccharides: Air/water interfacial behavior and rheological characteristics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 268(Part 1), 131583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131583>.
- Hou, J., Jiang, Z., Wang, J., Xu, L., Zhang, H., Li, H., Yu, X., Xia, N., Ma, Y., Rayan, A. M. & Ghamry, M. (2025a). Micronutrient supplemented dysphagia food: Rheology and β -carotene delivery of 3D printing egg yolk-carboxymethyl cellulose emulsion gels. *Food Research International*, 208, 116213. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116213>.
- Hou, J., Jiang, Z., Liu, M., Zhang, H., Li, H., Ma, Y., Xu, L., Xiao, C., Rayan, A. M. & Ghamry, M. (2025b). 3D printed gel process regulates the rheology, swallowing, and digestive fate of high internal phase emulsion gels for dysphagia foods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 727(Part 2), 138195. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.138195>.
- Hu, X. & Meng, Z. (2024). An overview of edible foams in food and modern cuisine: Destabilization and stabilization mechanisms and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(1), e13284. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13284>.
- International Dysphagia Diet Standardisation Initiative. (2026). *IDDSI framework*. Erişim adresi: <https://www.iddsi.org/standards/framework>. (E.T.: Erişim 01.05.2026).

- Kupikowska-Stobba, B., Domagała, J. & Kasprzak, M. M. (2024). Critical review of techniques for food emulsion characterization. *Applied Sciences*, 14(3), 1069.
- Lee, A. Y., Pant, A., Pojchanun, K., Lee, C. P., An, J., Hashimoto, M., Tan, U.-X., Leo, C. H., Wong, G., Chua, C. K. & Zhang, Y. (2021). Three-dimensional printing of food foams stabilized by hydrocolloids for hydration in dysphagia. *International Journal of Bioprinting*, 7(4), 393. <https://doi.org/10.18063/ijb.v7i4.393>.
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S. & Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>.
- Limampai, T., Impaprasert, R. & Suntornsuk, W. (2023). Influence of some hydrocolloids and sterilization conditions on the physical properties of texture-modified foods developed for the swallow training of dysphagia patients. *Foods*, 12(19), 3676. <https://doi.org/10.3390/foods12193676>.
- Liu, F., Yin, J., Wang, J. & Xu, X. (2022). Food for the elderly based on sensory perception: A review. *Current Research in Food Science*, 5, 1550-1558. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.014>.
- Liu, T., Zheng, J., Du, J. & He, G. (2024). Food processing and nutrition strategies for improving the health of elderly people with dysphagia: A review of recent developments. *Foods*, 13(2), 215. <https://doi.org/10.3390/foods13020215>.
- Liu, X., Du, J., Wang, X., Wang, Y., Li, X. & He, G. (2025). Comprehensive review of dysphagia and technological advances in dysphagia food. *Food Research International*, 196, 115354. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115354>.
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>.
- Lorenz, T., Iskandar, M. M., Baeghbali, V., Ngadi, M. O. & Kubow, S. (2022). 3D food printing applications related to dysphagia: A narrative review. *Foods*, 11, 1789. <https://doi.org/10.3390/foods11121789>.
- Matta, Z., Chambers, E., Mertz Garcia, J. & McGowan Helverson, J. M. (2006). Sensory characteristics of beverages prepared with commercial thickeners used for dysphagia diets. *Journal of the American Dietetic Association*, 106(7), 1049-1054. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.04.022>.
- McClements, D. J. (2010). Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 241-269. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100722>.
- McClements, D. J. & Rao, J. (2011). Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 285-330. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>.
- Meng, W. & Miao, S. (2026). Multifunctional emulsion gels for dysphagia nutrition: Coordinating texture, bioactives delivery, and sensory perception. *Food Hydrocolloids*, 179, 112523. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2026.112523>.
- Methacanon, P., Gamonpilas, C., Kongjaroen, A. & Buathongjan, C. (2021). Food polysaccharides and roles of rheology and tribology in rational design of thickened liquids for oropharyngeal dysphagia: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4101-4119. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12791>.
- Minor, M., Vingerhoeds, M. H., Zoet, F. D., de Wijk, R. & van Aken, G. A. (2009). Preparation and sensory perception of fat-free foams-effect of matrix properties and level of aeration. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(4), 735-747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01887.x>.
- Molimi, M. B., Egan, P. & Adebo, O. A. (2025). Progress in three-dimensional (3D) printed foods for dysphagia patients: Food sources, processing techniques, printability, nutrition,

- acceptability, and safety aspects. *Food Research International*, 202, 115629. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115629>.
- Mu, S., Ren, F., Shen, Q., Zhou, H. & Luo, J. (2022). Creamy mouthfeel of emulsion-filled gels with different fat contents: Correlating tribo-rheology with sensory measurements. *Food Hydrocolloids*, 131, 107754. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107754>.
- Munialo, C. D., Kontogiorgos, V., Euston, S. R. & Nyambayo, I. (2020). Rheological, tribological and sensory attributes of texture-modified foods for dysphagia patients and the elderly: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 1862-1871. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14483>.
- Murray, B. S. (2007). Stabilization of bubbles and foams. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4-5), 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2007.07.009>.
- Nath, P. C., Debnath, S., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., Nayak, P. K. & Sharma, M. (2023). A comprehensive review of food hydrogels: Principles, formation mechanisms, microstructure, and its applications. *Gels*, 9, 1. <https://doi.org/10.3390/gels9010001>.
- Nishinari, K., Turcanu, M., Nakauma, M. & Fang, Y. (2019). Role of fluid cohesiveness in safe swallowing. *NPJ Science of Food*, 3, 5. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0038-8>.
- Paleekui, P., Rattanamoto, B., Kanha, N., Rakariyatham, K., Klangpetch, W., Osiriphun, S. & Laokuldilok, T. (2025). Texture-modified soy protein gels using transglutaminase and agar for elderly dysphagia management. *Gels*, 11, 303. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels11040303>.
- Pant, A., Lee, A. Y., Karyappa, R., Lee, C. P., An, J., Hashimoto, M., Tan, U.-X., Wong, G., Chua, C. K. & Zhang, Y. (2021). 3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients. *Food Hydrocolloids*, 114, 106546. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106546>.
- Qin, Z., Yang, Y., Zhang, Z., Li, F., Hou, Z., Li, Z., Shi, J. & Shen, T. (2025). A critical review: Gel-based edible inks for 3D food printing: Materials, rheology-geometry mapping, and control. *Gels*, 11, 780. <https://doi.org/10.3390/gels1100780>.
- Raheem, D., Carrascosa, C., Ramos, F., Saraiva, A. & Raposo, A. (2021). Texture-modified food for dysphagic patients: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5125. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105125>.
- Rajati, F., Ahmadi, N., Naghibzadeh, Z. A. S. & Kazeminia, M. (2022). The global prevalence of oropharyngeal dysphagia in different populations: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Translational Medicine*, 20, 175. <https://doi.org/10.1186/s12967-022-03380-0>.
- Ren, Y., Huang, L., Zhang, Y., Li, H., Zhao, D., Cao, J. & Liu, X. (2022). Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products. *Foods*, 11(13), 1950. <https://doi.org/10.3390/foods11131950>.
- Ribeiro, M., Miquilussi, P. A., Gonçalves, F. M., Taveira, K. V. M., Stechman-Neto, J., Nascimento, W. V. & Santos, R. S. (2024). The prevalence of oropharyngeal dysphagia in adults: A systematic review and meta-analysis. *Dysphagia*, 39(2), 163-176. <https://doi.org/10.1007/s00455-023-10608-8>.
- Savaş, E. S., Demir, N., Kılavuz, A. & Saraç, Z. F. (2024). Determination of dysphagia with different tools in Turkish nursing home residents. *European Journal of Geriatrics and Gerontology*, 6(1), 39-45. <https://doi.org/10.4274/ejgg.galenos.2023.2023-8-4>.
- Schädle, C. N., Sanahuja, S., Ternes, W., Hinrichs, J. & Mittermaier, S. (2022). Influence of fat replacers on the rheological, tribological and aroma release properties of reduced-fat model emulsion systems and processed cheese. *Foods*, 11(6), 820. <https://doi.org/10.3390/foods11060820>.
- Shao, J., Zheng, Z., Hu, J., Sriboonvorakul, N. & Lin, S. (2025). 3D-printed foods for dysphagia: A bibliometric review. *Foods*, 14, 2058. <https://doi.org/10.3390/foods14122058>.
- Smith, R., Bryant, L. & Hemsley, B. (2022). Allied health professionals' views on the use of 3D food printing to improve the mealtime quality of life for people with dysphagia: Impact, cost,

- practicality, and potential. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 31(4), 1868-1877. https://doi.org/10.1044/2022_AJSLP-21-00391.
- Smith, R., Bryant, L. & Hemsley, B. (2024). Perspectives of people with dysphagia and their supporters on the potential for 3D food printing to improve mealtime-related quality of life. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 19(3), 1032-1040. <https://doi.org/10.1080/17483107.2022.2142681>.
- Sopade, P. A., Halley, P. J., Cichero, J. A. Y. & Ward, L. C. (2006). Rheological characterisation of food thickeners marketed in Australia in various media for the management of dysphagia. I: Water and cordial. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 69-82.
- Steele, C. M., Alsanei, W. A., Ayanikalath, S., Barbon, C. E. A., Chen, J., Cichero, J. A. Y., Coutts, K., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Giosa, L., Hanson, B., Lam, P., Lecko, C., Leigh, C., Nagy, A., Namasivayam, A. M., Nascimento, W. V., Odendaal, I., Smith, C. H. & Wang, H. (2015). The influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function: A systematic review. *Dysphagia*, 30(1), 2-26. <https://doi.org/10.1007/s00455-014-9578-x>.
- Sukkar, S. G., Maggi, N., Travalca Cupillo, B. & Ruggiero, C. (2018). Optimizing texture modified foods for oro-pharyngeal dysphagia: A difficult but possible target? *Frontiers in Nutrition*, 5, 68. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00068>.
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J. Y. H. & Hong, G. S. (2015). An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1605-1615. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6>.
- Teixé-Roig, J., Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Martín-Belloso, O. & Soliva-Fortuny, R. (2023). Emulsion-based delivery systems to enhance the functionality of bioactive compounds: Towards the use of ingredients from natural, sustainable sources. *Foods*, 12(7), 1502. <https://doi.org/10.3390/foods12071502>.
- Tejada-Ortigoza, V. & Cuan-Urquiza, E. (2022). Towards the development of 3D-printed food: A rheological and mechanical approach. *Foods*, 11, 1191. <https://doi.org/10.3390/foods11091191>.
- Tobin, A. B., Hearty, Á. P., Cosgrove, M., Murphy, M., Kelly, A. L. & Brodkorb, A. (2020). In vitro oral processing methods for modelling food breakdown and bolus formation: A review. *Food & Function*, 11(12), 10319-10337. <https://doi.org/10.1039/D0FO01728K>.
- Wang, X., Rong, L., Shen, M., Yu, Q., Chen, Y., Li, J. & Xie, J. (2023). Rheology, texture and swallowing characteristics of a texture-modified dysphagia food prepared using common supplementary materials. *Foods*, 12, 2287. <https://doi.org/10.3390/foods12122287>.
- Wang, N., Zhang, K., Chen, Y., Hu, J., Jiang, Y., Wang, X. & Ban, Q. (2023). Tuning whey protein isolate/hyaluronic acid emulsion gel structure to enhance quercetin bioaccessibility and in vitro digestive characteristics. *Food Chemistry*, 429, 136910. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136910>.
- Wang, Y., Aluko, R. E., McClements, D. J., Yu, Y., Xu, X., Sun, Q., Wang, Q., Jiao, B. & Dai, L. (2024). Emulsion gel-based inks for 3D printing of foods for dysphagia patients: High internal type emulsion gel-biopolymer systems. *Food Hydrocolloids*, 156, 110340. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110340>.
- Wu, X. S., Miles, A. & Braakhuis, A. (2020). Nutritional intake and meal composition of patients consuming texture modified diets and thickened fluids: A systematic review and meta-analysis. *Healthcare*, 8(4), 579. <https://doi.org/10.3390/healthcare8040579>.
- Wu, X. S., Miles, A. & Braakhuis, A. J. (2021). Texture-modified diets, nutritional status and mealtime satisfaction: A systematic review. *Healthcare*, 9(6), 624. <https://doi.org/10.3390/healthcare9060624>.
- Wu, X., Yousif, L., Miles, A. & Braakhuis, A. (2022). Exploring meal provision and mealtime challenges for aged care residents consuming texture-modified diets: A mixed methods study. *Geriatrics*, 7(3), 67. <https://doi.org/10.3390/geriatrics7030067>.

- Xie, H., Sha, X.-M., Yuan, P., Li, J.-L., Hu, Z.-Z. & Tu, Z.-C. (2024). Rheology, physicochemical properties, and microstructure of fish gelatin emulsion gel modified by γ -polyglutamic acid. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1343394. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1343394>.
- Xu, W., Yu, S. & Zhong, M. (2022). A review on food oral tribology. *Friction*, 10(12), 1927-1966. <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0594-9>.
- Yang, M., Chen, K., Qin, Z., Zhu, X., Zhang, Y. & Yang, Z. (2026). Gel-based 3D food printing for dysphagia management: Advances in personalized nutrition, texture control, and clinical translation. *Gels*, 12, 289. <https://doi.org/10.3390/gels12040289>.
- Zhan, F., Youssef, M., Shah, B. R., Li, J. & Li, B. (2022). Overview of foam system: Natural material-based foam, stabilization, characterization, and applications. *Food Hydrocolloids*, 125, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107435>.
- Zhang, G., Li, Y., Zhang, R., Li, G., Yin, M. & Wang, X. (2026). Functional protein-based emulsions for dysphagia management in the elderly: Stability mechanisms, rheological design, and translational prospects. *Food Chemistry*, 498, 147039. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147039>.
- Zhang, X., Wang, Z., Hu, G., Yang, Y., Sun, H. & Cai, Z. (2025). Hydrogel foam with designed structural properties of egg white protein through building aggregates as potential dysphagia food. *Food Hydrocolloids*, 158, 110584. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110584>.

FERMANTASYON TEKNOLOJİSİ VE ÖZEL BESLENME STRATEJİSİNDEKİ ÖNEMİ

Hilal Kılmanoğlu*

GİRİŞ

Fermantasyon antik çağlardan beri uygulanan en eski gıda işleme yöntemlerinden biri olup, genellikle alkol ve peynir gibi ürünlerin üretimi yapılmaktaydı. Günümüzde fermantasyon teknolojisi sayesinde fermente yiyecek ve içecek üretiminin yanında tek hücre proteini, organik asitler, antibiyotikler, enzimler gibi oldukça fazla ürün üretimi yapılmaktadır (Sağlam vd., 2020). Fermantasyon, mikroorganizmaların ve ham maddedeki enzimlerin faaliyeti sonucu gıda matrislerinin besinsel, duyuusal ve biyoaktif özelliklerinin dönüştürülmesi sürecidir (Melini vd., 2019). Uluslararası Probiyotik ve Prebiyotik Bilimsel Birliği (ISAPP) tarafından hazırlanan konsensüs raporuna göre fermente gıdalar; istenen mikrobiyal büyüme ve gıda bileşenlerinin enzimatik dönüşümü yoluyla elde edilen gıdalar olarak tanımlanır (Mukherjee vd., 2024; Valentino vd., 2024). Bu süreçte mikroorganizmalar, ham maddedeki kompleks molekülleri daha basit ve biyolojik olarak daha aktif formlara parçalarlar. Sütlerin, tahılların, meyve ve sebzelerin fermantasyonu ile çok çeşitli gıda üretimi yapılabilmektedir. Farklı fermantasyon şekilleri olsa da doğal fermantasyonun nispeten kolay uygulanabilir olması, dünyanın hemen hemen her yerinde bölgeye özgü fermente gıdaların üretilmesine imkan tanımıştır (Sağlam vd., 2020).

Bu kitap bölümünde, fermantasyon teknolojisinin temel mekanizmaları ve özel beslenme stratejilerindeki fonksiyonel rolü ele alınarak, süreç boyunca üretilen probiyotik, prebiyotik ve postbiyotik bileşenlerin bağırsak-beyin aksı ile psikolojik sağlık üzerindeki metabolik etkileri bilimsel kanıtlar eşliğinde incelenmiştir. Ayrıca, glütensiz, ketojenik, laktozsuz ve Akdeniz tipi gibi özel beslenme modellerinde fermantasyonun gıda güvenliği, kalitesi ve semptom yönetimi üzerindeki

* Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Kütahya, hilal.kilmanoglu@dpu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-0561-4653

katkıları değerlendirilerek, vejetaryen/vegan diyetlerdeki mikro besin eksikliklerinin giderilmesine yönelik güncel yaklaşımlar ile geleceğe yönelik araştırma gereksinimleri ortaya konulmuştur.

Fermantasyonun tanımı ve tarihçesi

Gıda fermantasyonu, mikroorganizmalar tarafından şekerin CO₂ ve alkole dönüştürüldüğü, insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden biridir ve yaklaşık 8.000-9.000 yıllık bir geçmişe sahiptir (Valentino vd., 2024). Fermantasyonun birçok tanımı olmasına rağmen organik bileşiklerin anaerobik yolla katabolizması sonucu enerji elde edilmesi onlardan birisidir. Ancak her zaman oksijensiz ortamda gerçekleşmek zorunda olmayıp aerobik yolla da fermantasyon gerçekleşebilmektedir (Sağlam vd., 2020). Başlangıçta gıdaların raf ömrünü uzatmak ve bozulmayı önlemek amacıyla bir koruma yöntemi olarak kullanılan bu teknik, günümüzde sunduğu fonksiyonel sağlık faydaları nedeniyle modern beslenme biliminin merkezine yerleşmiştir (Judijanto vd., 2025). Ayrıca gıdaların veya gıda bileşenlerinin duyuusal ve besinsel özelliklerini geliştirdiği, gıdaların içerdikleri antibesinsel maddeler nedeniyle zararlı olabilecek etkilerini azalttığı bilinmektedir (Bell vd., 2017). Antik çağlarda Mezopotamya'dan Asya'ya kadar geniş bir coğrafyada süt, tahıl ve sebzelerin fermantasyonu yoluyla gıda güvenliği sağlanmıştır.

Fermantasyonun kökenleri, şarap üretimi ve sütün peynire dönüştürülmesine ait arkeolojik kalıntılara dayandırılmaktadır. Bilimsel temelleri 19. yüzyılda Louis Pasteur'ün süreci mikrobiyolojik bir olgu olarak tanımlaması ve Eduard Buchner'in enzimlerin rolünü keşfetmesiyle atılmıştır. 20. yüzyılda biyokimyasal mekanizmaların aydınlatılması ve dünya savaşları sırasındaki stratejik üretimlerle endüstriyel bir boyut kazanan bu yöntem; günümüzde sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, atıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesinde kritik bir önem taşımaktadır (Bell vd., 2017; Valentino vd., 2024). Gıda endüstrisinin yanında terapötik bileşenlerin üretilmesinde, biyoyakıt eldesi ve kimya endüstrisinde fermantasyon teknolojisi büyük bir öneme sahiptir. Dünyanın farklı bölgelerinde üretilen binlerce çeşit fermente gıda ve içecekler genellikle doğal maya ve bakterilerin gıdalardaki şekeri laktik aside dönüştürmesi ile elde edilen geleneksel ürünlerdir. Bu geleneksel ürünlerin birçoğunun bilinirliği düşük olup çeşitli probiyotik ve fonksiyonel bileşen barındırdığına inanılır (Valentino vd., 2024). Geleneksel yöntemler ile üretilen gıdalarda mikrobiyotanın kompozisyonu

ve metabolit-mikroorganizma ilişkisi net olarak bilinmediği için standart üretim yapmak zorlaşmaktadır. Starter kültürlerin hayatımıza girmesiyle belirli fermente gıdaların standart üretimlerinin yapılması mümkün hale gelse de birçok geleneksel fermente gıdanın mikrobiyal popülasyonu ve teknolojik etkisinin belirlenmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Üretimi ve kompozisyonu araştırılmış fermente gıdaların insan beslenmesinde ve sağlığı geliştirmedeki önemi de ortaya çıkmaktadır (Judijanto vd., 2025).

Sağlıklı beslenmeye olan ilginin artmasıyla fermente gıdalara yönelim artmıştır. Fermantasyon, gıdaların lezzetini arttırmanın yanında organik asitler, etanol, bakteriyosin gibi metabolitlerle patojen mikroorganizmaların gelişimini engelleyerek gıdaların raf ömrünün arttırılmasına da katkı sağlamaktadır. Fermente gıdalarda bu metabolitlerin sindirilmesiyle insan sağlığının olumlu yönde geliştiği bu durum biyojenik etki olarak bilinmektedir (Sağlam vd., 2020). Fermente gıdalardaki biyojenik etkinin yanında, bu metabolitleri oluşturan yararlı mikroorganizmaların gıda ile birlikte vücuda alınması da probiyotik etki oluşturmaktadır. Ancak bu yararlı mikroorganizmaların *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar ile probiyotik etkisinin ve insan orjinli olduğunun belirlenmesi gerekmektedir (Öztürk, 2022).

Fermantasyonu etkileyen faktörler

Fermantasyon sürecinin başarısı ve nihai ürünün kalitesi, bir dizi çevresel ve kimyasal parametreye sıkı sıkıya bağlıdır (Valentino vd., 2024). Bunlar yanında, fermente ürünlerin endüstriyel üretiminde teknolojik ve ekonomik parametreler de dikkate alınmalıdır. Özellikle düşük maliyetli hammadde kullanımı, minimum çevre kirliliği ve kolay elde edilebilirliği fermantasyon sürecini etkilemektedir (Sağlam vd., 2020).

Fermantasyonda gıda bileşenlerinin geçirdiği biyokimyasal dönüşüm sürecinde gıdaların raf ömrü artarken B12 vitamini, K2, folat ve esansiyel amino asitlerin biyoyararlanımı da artmaktadır (Judijanto vd., 2025). Ancak, fermente ürünlerden beklenen probiyotik etki gibi sağlık faydalarının sağlanması, fermantasyon ve depolama sırasında çeşitli çevresel ve mikrobiyolojik faktörlerin titizlikle kontrol edilmesine bağlıdır (Akan & Kımık, 2015; Çelikel vd., 2018).

a. Mikrobiyal faktörler ve suş seçimi

Fermantasyonun başarısı, kullanılan mikroorganizmanın türü ve suşuna ait spesifik özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Başta probiyotik mikroorganizmalar olmak üzere, sağlık üzerine olumlu etki yapabilmesi için mikroorganizmaların mide asidine ve safra tuzlarına karşı dirençli olması gerekir (Çelikel vd., 2018). Genel olarak *Lactobacillus* türlerinin, düşük pH değerlerine *Bifidobacterium* türlerinden daha dayanıklı olduğu saptanmıştır (Akan & Kınık, 2015). Probiyotik olmamasına rağmen çeşitli fermente gıdaların üretiminde rol alan mikrobiyal suş seçimi, nihai ürünün duyuşal (aroma ve tat), teknolojik (tekstür ve raf ömrü) ve fonksiyonel (sağlık faydaları) özelliklerini doğrudan belirlediği için kritik bir öneme sahiptir. Özel beslenmede önemli bir yere sahip olan ekşi hamur üretimi için suş seçimi sadece hamuru kabartmak değil, aynı zamanda tüketici tercihlerine ve teknolojik gereksinimlere uygun, kararlı ve yüksek kaliteli bir ürün elde etmek için stratejik bir gereklilik olmaktadır (De Vuyst vd., 2023).

b. Çevresel ve kimyasal faktörler

Ortam asitliği, oksijen düzeyi, serbest su miktarı gibi faktörler fermente ürünlerin üretiminde kritik role sahiptir. Ürünün pH değerinin aşırı düşmesi hücreler üzerinde bakterisidal etki yaratmaktadır. Probiyotik mikroorganizmalardan *L. acidophilus*, pH 4.4'ün altına düştüğünde sayısında ciddi azalmalar görülürken, bifidobakterilerin pH 4.6'nın altında canlılıklarını sürdürmelerinin zorlaştığı ifade edilmektedir (Çelikel vd., 2018). Ayrıca düşük pH (yaklaşık 4.0 ve altı) ve değişen besin konsantrasyonları gibi zorlu ekosistem koşullarına uyum sağlama ve hızlı asit üretme yeteneği birincil seçim kriteridir (De Vuyst vd., 2023). Bir diğer faktör olan oksijen varlığı, hücreler için toksik olan peroksitlerin ve serbest radikallerin oluşmasına neden olarak canlılığı azaltmaktadır. Özellikle anaerobik olan bifidobakteriler oksijene karşı oldukça hassastır (Akan & Kınık, 2015; Çelikel vd., 2018). Fermantasyon ortamında bulunan karbonhidrat miktarı, azot kaynakları ve mineral madde içeriği, fermente edici suşların büyüme hızını belirleyerek son ürünün kalitesini etkilemektedir (Valentino vd., 2024).

c. İşleme ve depolama parametreleri

Her mikroorganizmanın optimum gelişme sıcaklığı ve tolere edebileceği sıcaklık düzeyi bulunmaktadır. Birçok fermente ürünün

üretiminde kullanılan laktik starter kültürler, ortalama 30 °C’de ideal gelişme göstermektedirler (Sağlam vd., 2020). Çoğu probiyotik için optimum gelişim sıcaklığı 37-43 °C arasındadır ve 45 °C üzerindeki sıcaklıklar hücrelere zarar vermektedir. Depolama aşamasında ise canlılığın korunması için 4-5 °C sıcaklıklar önerilmektedir (Akan & Kınık, 2015). Ayrıca, başlangıçtaki mikroorganizma sayısının yüksek tutulması (inokülasyon miktarı), ürünün raf ömrü boyunca canlı mikroorganizma sayısının standartlarda (probiyotikler için en az 10^6 - 10^7 Koloni Oluşturan Birim (KOB)/g) kalmasına yardımcı olur (Çelikel vd., 2018). İnokülasyon oranının düşük olması istenmeyen mikroorganizmaların çoğalarak mikrobiyal dengeyi bozmasına neden olabildiğinden genellikle ideal inokülasyon miktarı başlangıçtaki ürün hacminin %3-10’u olacak şekilde ayarlanmaktadır (Sağlam vd., 2020).

d. Hijyen ve güvenlik

Fermantasyon öncesinde hammadde kalitesi ve hijyenik koşullar hayati önem taşımaktadır. Uygun olmayan koşullar, *Aspergillus* veya *Fusarium* kaynaklı mikotoksin oluşumuna ve ciddi zehirlenmelere yol açabilmektedir (Bell vd., 2017). Fermantasyon ortamındaki farklı türler birbirlerini destekleyebilmekte veya birbirlerinin gelişimini engelleyebilmektedir. Örneğin, *S. thermophilus* ortamdaki oksijeni tüketerek bifidobakterilerin gelişimi için gerekli anaerobik koşulları sağlamakta; ancak bazı starter bakterilerin ürettiği hidrojen peroksit veya bakteriyosinler probiyotik canlılığını olumsuz etkileyebilmektedir (Çelikel vd., 2018).

e. Teknolojik uygulamalar ve ambalajlama

Mikroorganizmaları olumsuz çevre koşullarından korumak amacıyla çeşitli modern teknikler kullanılmaktadır. Bunlara arasında yer alan enkapsülasyon ile, hücrelerin etrafında aljinat veya süt proteinleri gibi maddelerle fiziksel bir bariyer oluşturulmaktadır. Bu teknik, bakterileri mide asidi, safra tuzları ve oksijen gibi stres faktörlerinden korumaktadır (Akan & Kınık, 2015; Çelikel vd., 2018). Sadece mikroorganizmayı korumak için değil aynı zamanda biyoaktif bir bileşenin de olumsuz çevre koşullarından zarar görmesini engellemeye veya kontrollü salınımı ile vücutta biyoyararlanımının artmasına yardımcı olmaktadır (Gruskiene vd., 2021). İnülin, oligosakkaritler, laktitol gibi prebiyotiklerin eklenmesi, probiyotiklerin bağırsakta kolona tutunma başarısını ve ürün içindeki canlılığını artırmakta böylece sinbiyotik ilişki oluşturulmaktadır (Li vd.,

2020). Bir diğer uygulama olarak, farklı özellikteki ambalaj malzemelerinin kullanımıyla mikroorganizmaların canlılıklarını koruması ve dolayısıyla fermentasyonun istenen yönde tamamlanabilmesi sağlanabilmektedir. Ambalajın oksijen geçirgenliği canlılık üzerinde kritiktir. Cam şişeler, plastik ambalajlara göre daha düşük oksijen geçirgenliğine sahip olduklarından anaerobik suşları daha iyi korumaktadır (Akan & Kınık, 2015; Çelikel vd., 2018).

Fermentasyon teknolojisinde önemli mikroorganizmalar

Fermentasyon, gıdaların bozulmadan korunmasını sağlamanın yanı sıra esansiyel amino asitler ve vitaminlerin senteziyle besin değerini artıran doğal bir yöntemdir (Karaçıl & Acar Tek, 2013). Biyokimyasal açıdan bu süreç, karbonhidratların ve ilgili bileşiklerin, bir dış elektron alıcısının yokluğunda mikroorganizmalar tarafından kısmen okside edilerek enerjinin serbest bırakıldığı metabolik bir işlemdir (Melini vd., 2019). Fermente yiyecek ve içecekler; bakteri, maya ve küfler gibi mikroorganizmalar ile bunlara ait enzimler aracılığıyla üretilmektedir (Bell vd., 2017). Bu süreçte kullanılan mikroorganizmalar, ham maddenin karakteristik dokusunu, lezzetini ve sağlık üzerindeki fonksiyonel özelliklerini belirleyen temel unsurlardır (Şengün, 2011).

a. Laktik Asit Bakterileri (LAB)

LAB, gıda fermentasyonlarında en yaygın kullanılan mikroorganizma grubudur (Şengün, 2011). Gram-pozitif, katalaz-negatif ve sporsuz olan bu bakteriler, şekerleri fermente ederek birincil ürün olarak laktik asit üretirler (Melini vd., 2019).

Yoğurt üretiminde *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* türleri simbiyotik bir ilişki içinde starter kültür olarak kullanılır (Şengün, 2011). Peynir üretiminde *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus helveticus* ve *L. casei* gibi türler dominanttır (Şengün, 2011). Kefirde ise laktik asit bakterileri (örneğin *L. kefir*) mayalarla birlikte bir matris içinde bulunur (Karaçıl & Acar Tek, 2013).

Lactobacillus, *Lactococcus*, *Streptococcus* ve *Pediococcus* gibi cinsler, gıdanın dokusunu geliştiren ve hücreleri koruyan ekzopolisakkaritler (EPS) üretir. Özellikle ekşi hamur ürünlerinde tekstürel ve duyuşsal özelliklerin gelişmesine katkı sağlamaktadır (Valentino vd., 2024).

Sucuk ve fermente sosislerde *Lactobacillus sakei*, *L. curvatus* ve *L. plantarum* en sık rastlanan türlerdir (Şengün, 2011). Bu bakteriler etin pH değerini düşürerek patojenlerin gelişimini engeller ve ürüne karakteristik aroma ile renk kazandırır (Karaçıl & Acar Tek, 2013).

Turşu, sauerkraut ve zeytin fermantasyonunda *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis* ve *L. plantarum* başrol oynar (Şengün, 2011). Laktik asit fermantasyonu, sebzelerin raf ömrünü uzatırken antioksidan kapasitelerini de artırabilmektedir (Melini vd., 2019).

Tarhana ve boza gibi geleneksel ürünlerde *L. plantarum*, *L. fermentum* ve *L. sanfranciscensis* gibi türler tahılların besin değerini artırır ve fitatları parçalayarak minerallerin biyoyararlanımını sağlamaktadır (Şengün, 2011; Karaçıl & Acar Tek, 2013).

b. Mayalar

Mayalar, gıda fermantasyonunda özellikle alkol üretimi, doku gelişimi ve aroma oluşumu süreçlerinde kritiktir (Kılıç Kanak & Yılmaz, 2019). Genellikle laktik asit bakterileri ile birlikte karmaşık bir mikrobiyal ekoloji içinde görev yaparlar (Şengün, 2011).

Saccharomyces cerevisiae (ekmek mayası), fırıncılık ürünlerinin yanı sıra şarap ve bira üretiminde kullanılan en temel mayadır (Karaçıl & Acar Tek, 2013; Kılıç Kanak & Yılmaz, 2019). Özellikle *Saccharomyces cerevisiae* ve *Kluyveromyces marxianus*, tahıl bazlı ürünlerde karbondioksit üretimi ve aroma oluşumunda kritik rol oynar (Pitsch vd., 2021; Dahiya & Nigam, 2022).

Kefir tanelerinin yapısında laktik asit bakterilerine ek olarak *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* ve *Candida* türleri bulunmaktadır (Şengün, 2011). Boza üretiminde de mayalar asitlik ve gaz oluşumuna katkıda bulunarak içeceğin ferahlatıcı özelliğini sağlamaktadır (Karaçıl & Acar Tek, 2013).

Saccharomyces cerevisiae var. *boulardii*, günümüzde probiyotik olarak tanımlanan ve klinik olarak kanıtlanmış tek mayadır (Kılıç Kanak & Yılmaz, 2019). Ayrıca *Kluyveromyces marxianus* gibi türlerin ekmeklerdeki sindirilemeyen şeker (FODMAP) içeriğini %90'ın üzerinde azalttığı saptanmıştır (Melini vd., 2019).

c. Küfler (Fungi)

Küfler, özellikle Asya mutfağına özgü soya bazlı fermente ürünlerde ve belirli peynir çeşitlerinde doku ve tat gelişiminden sorumludur (Karaçıl & Acar Tek, 2013).

Endonezya'nın geleneksel ürünü olan tempeh üretiminde *Rhizopus oryzae* ve *Rhizopus oligosporus* kullanılır (Karaçıl & Acar Tek, 2013; Melini vd., 2019). Japonya'ya özgü miso ve soya sosu üretiminde ise *Aspergillus oryzae* gibi mantarlar görev almaktadır (Karaçıl & Acar Tek, 2013).

Kamembert ve Roquefort gibi peynirlerin olgunlaşmasında *Penicillium roqueforti* ve *Penicillium camemberti* türleri karakteristik küf aroması ve yapısını oluşturmaktadır (Şengün, 2011).

ç. Probiyotik Mikroorganizmalar

Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konakçının sağlığına yarar sağlayan canlı mikroorganizmalardır (Judijanto vd., 2025). Fermente süt ürünleri, bu bakterilerin taşınmasında en etkili araçlar olmaktadır (Çelikel vd., 2018). Ticari olarak en çok *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium* türleri (örneğin *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12) kullanılmaktadır (Çelikel vd., 2018).

Bu mikroorganizmalar sindirim sistemini düzenlemekte, bağışıklık sistemini güçlendirmekte ve kolesterol seviyelerini düşürmeye yardımcı olmaktadır (Akan & Kınık, 2015). Probiyotiklerin etkili olabilmesi için ürünün gramında en az 10^6 - 10^7 KOB canlı hücre bulunması önerilmektedir (Çelikel vd., 2018).

Fermente gıdaların üretimi, ham maddeye ve bölgenin kültürel geleneklerine göre seçilen çok çeşitli mikroorganizmaların koordineli çalışmasına dayanmaktadır (Karaçıl & Acar Tek, 2013). Bakteri, maya ve küflerin bu biyokimyasal etkinliği, gıdaları sadece korunabilir kılmakla kalmaz, aynı zamanda modern beslenmede sağlık üzerine olumlu etkileri olan fonksiyonel gıdaların ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır (Melini vd., 2019; Judijanto vd., 2025).

Antibesinsel faktörlerin azaltılması ve biyoyararlanımda fermantasyonun önemi

Bitkisel kaynaklı gıdalar, minerallerin emilimini engelleyen antibesinsel faktörler içermektedir. Fermantasyon, bu bileşenleri etkisiz

hale getirerek gıdanın besin kalitesini artırır (Melini vd., 2019; Mukherjee vd., 2024). Bitkisel kaynaklı ürünlerde fermentasyon teknolojisinin avantajları şunlardır:

a. Besin değerin artırılması ve biyoyararlılık

Fermentasyon, bitkisel materyallerin besinsel kalitesini çeşitli mekanizmalarla arttırmaktadır. Laktik asit bakterileri, fermentasyon süreci boyunca riboflavin, niasin, pantotenik asit ve folik asit gibi B grubu vitaminlerini sentezleyerek gıdanın vitamin içeriğini zenginleştirmektedir (Akan & Kınık, 2015; Çeltik vd., 2022). Ayrıca, tahıllardaki proteinlerin ve nişastanın yapısını değiştirerek bu bileşenlerin sindirilebilirliğini ve biyoyararlılığını kolaylaştırmaktadır (Gupta & Abu-Ghannam, 2012; Dahiya & Nigam, 2023).

b. Antibesinsel faktörlerin azaltılması

Bitkisel kaynaklı gıdaların en büyük dezavantajlarından biri olan ve besin emilimini engelleyen fitat, tanen, polifenol ve tripsin inhibitörleri gibi antibesinsel faktörler, fermentasyon yoluyla önemli ölçüde azaltılır (Gupta & Abu-Ghannam, 2012; Dahiya & Nigam, 2023). Örneğin, soyada bulunan ve sindirim sisteminde gaza neden olan oligosakkaritlerin seviyeleri bu süreçte düşürülerek tüketici konforu artırılmaktadır (Dahiya & Nigam, 2023).

c. Fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesi

Fermentasyon, bitkisel dokularda bağlı halde bulunan fenolik bileşikler serbest bırakarak ürünün antioksidan kapasitesini ve toplam fenolik içeriğini yükseltmektedir (Liao vd., 2022; Dahiya & Nigam, 2023).

Ayrıca, buğday kepeği gibi yan ürünlerin probiyotiklerle fermente edilmesi, çözünmeyen diyet lifinin yapısını değiştirerek su tutma ve şişme kapasitesi gibi fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmektedir (Liao vd., 2022). Fermentasyon sonucu oluşan asitlik, minerallerin (örneğin demir) çözünürlüğünü ve vücut tarafından emilimini arttırmaktadır (Gupta & Abu-Ghannam, 2012).

d. Gıda güvenliği ve raf ömrünün uzatılması

Fermentasyon sırasında üretilen laktik asit ve asetik asit gibi organik asitler ortamın pH'ını düşürerek patojen mikroorganizmaların gelişimini engellemektedir (García vd., 2014; Dahiya & Nigam, 2022). Laktik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinler de doğal koruyucu işlevi

görerek ürünün raf ömrünü ve güvenliğini arttırmaktadır (Akan & Kınık, 2015; Dahiya & Nigam, 2023).

e. Duyusal özellikler ve tüketici kabulü

Bitkisel kaynaklı ürünlerde (özellikle soya ve bazı tahıllarda) karşılaşılan istenmeyen tatlar, fermantasyon süreciyle maskelenebilir veya yeni aroma bileşenlerinin senteziyle daha kabul edilebilir hale getirilebilmektedir (Gupta & Abu-Ghannam, 2012; Çeltik vd., 2022; Dahiya & Nigam, 2023).

f. Özel beslenme gereksinimlerine uygunluk

Dünya nüfusunun yaklaşık %75'inin yaşadığı laktoz intoleransı, süt alerjisi veya vegan beslenme tercihleri nedeniyle bitkisel kaynaklı fermente ürünler, geleneksel süt ürünlerine karşı sağlıklı ve fonksiyonel bir alternatif sunmaktadır (Akan & Kınık, 2015; Dahiya & Nigam, 2022). Meyve ve sebze suları ile tahıl bazlı içecekler, probiyotik hücrelerin taşınması için ideal matrisler olarak değerlendirilmektedir (Gupta & Abu-Ghannam, 2012; Dahiya & Nigam, 2023).

Tahıllarda ve baklagillerde bulunan fitik asit, kalsiyum, demir ve çinkoyu bağlamaktadır. Fermantasyon sırasındaki fitaz aktivitesi, bu bağ kırıarak mineralleri serbest bırakmaktadır (Balasubramanian vd., 2024; Mukherjee vd., 2024).

Tripsin inhibitörleri ve lektinler, protein sindirimini zorlaştırmakta, bu maddelerin miktarı mikrobiyal proteoliz yoluyla önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Mukherjee vd., 2024).

Fermente edilebilir oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve polioller (FODMAP)

FODMAP, "Fermente Edilebilir Oligosakkaritler, Disakkaritler, Monosakkaritler ve Polioller" (Fermentable Oligosaccharides, Disaccharides, Monosaccharides, and Polyols) kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır (Ispiryan vd., 2022). Bu bileşikler, ince bağırsakta zayıf emilen, ozmotik olarak aktif olan ve kalın bağırsaktaki bakteriler tarafından hızla fermente edilen kısa zincirli karbonhidratlardır (Tuck vd., 2018). Özellikle Irritabl Bağırsak Sendromu (IBS) olan bireylerde bu semptomlar çok daha şiddetli seyretmektedir (Ding vd., 2025). Başlıca FODMAP grupları şunlardır:

a. Fruktanlar: Buğday, çavdar, arpa, sarımsak ve soğanda bulunmaktadır (Iacovou vd., 2015).

b. Galaktooligosakkaritler (GOS): Baklagiller ve kaju gibi kuruyemişlerde yaygındır (Tuck vd., 2018).

c. Laktoz: Süt ve süt ürünlerinde bulunan bir disakkarittir (Ispiryan vd., 2022).

d. Fruktöz: Glikozdan fazla miktarda fruktoz içeren elma, armut ve bal gibi gıdalarda bulunmaktadır (Iacovou vd., 2015).

e. Polioller (Şeker Alkolleri): Sorbitol ve mannitol gibi, bazı meyve ve sebzelerde (mantar, karnabahar vb.) doğal olarak bulunmaktadır (Tuck vd., 2018).

FODMAP'lerin insan sağlığı üzerindeki etkisi iki yönlü gerçekleşmektedir. Bir yandan, özellikle fruktanlar ve GOS, prebiyotik özellik göstererek bağırsaktaki faydalı bakterilerin (bifidobakteriler gibi) büyümesini teşvik etmektedir (Gibson vd., 2020). Diğer yandan, hassas bireylerde bu karbonhidratların kalın bağırsağa ulaştığında hızla fermente edilmesi, hidrojen ve metan gazı çıkışına yol açarak bağırsak lümeninin genişlemesine neden olmaktadır (Iacovou vd., 2015). Ozmotik etkileri nedeniyle bağırsaklara su çekerler, bu da ishal veya şişkinlik gibi semptomları tetikleyebilmektedir (Ispiryan vd., 2022). Bu nedenle, bu bileşiklerin kontrolü, fonksiyonel gastrointestinal bozuklukların yönetiminde kritik bir role sahiptir.

Fermantasyon, gıdalardaki FODMAP içeriğini azaltmak için kullanılan en güçlü biyoteknolojik stratejilerden birisi olmaktadır (Ispiryan vd., 2022). Fermantasyon süreci sırasında, mikroorganizmalar (özellikle laktik asit bakterileri ve mayalar) karbonhidratları enerji kaynağı olarak kullanırlar. Mikroorganizmalar tarafından salgılanan invertaz ve inülinaz gibi enzimler, kompleks fruktanları glikoz ve fruktoza parçalamaktadır (Menezes vd., 2019). Parçalanmış şekerler daha sonra mikroorganizmalar tarafından fermente edilmekte, bu da nihai ürünlerdeki toplam FODMAP yükünü azaltmaktadır (Ispiryan vd., 2022).

Bunun en yaygın örneği ekşi hamur teknolojisinde görülmektedir. Ekşi mayalı ekmek yapımında uzun fermantasyon süreleri, buğdaydaki fruktan içeriğini %70-75 oranında azaltabilmektedir (Menezes vd., 2019). Klinik çalışmalar, ekşi mayalı ekmek tüketen IBS hastalarının, standart mayalı

ekmek tüketenlere kıyasla daha az abdominal semptom yaşadığını göstermektedir (Laatikainen vd., 2016). Ekşi hamur tekniği haricinde FODMAP içeriğini yönetmek ve biyotik fayda sağlamak için gıdalarda uygulanan yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında nohut ve mercimek gibi baklagillerde ıslatma, filizlendirme (çimlendirme) ve fermantasyon kombinasyonları, GOS içeriğini %10 ila %80 oranında azaltabilmektedir (Tuck vd., 2018; Ispiryan vd., 2022).

Ayrıca, kefir ve yoğurt üretimi sırasında laktik asit bakterileri laktozu laktik aside dönüştürerek ürünün FODMAP yükünü azaltmaktadır (Dahiya & Nigam, 2022).

Bir başka uygulama sebzelerin turşu (pickling) haline getirilmesi olup, suda çözünen FODMAP'lerin salamura sızması nedeniyle sarımsak, soğan ve pancar gibi gıdaların FODMAP değerlerini anlamlı ölçüde düşürmektedir (Tuck vd., 2018).

Kombucha ve boza gibi fermente içecekler de ise, mikroorganizmaların karbonhidratları tüketmesi ve postbiyotik metabolite dönüşmesiyle hem besleyici hem de sindirimi kolay seçenekler sunmaktadır (Dahiya & Nigam, 2022; Balasubramanian vd., 2024).

Probiyotik beslenmede fermantasyonun önemi

Modern beslenme biliminde gıdalar artık sadece temel besin öğelerini sağlayan maddeler olarak değil, aynı zamanda sağlığı geliştirme ve hastalıkları önleme potansiyeline sahip unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Stanton vd., 2005). Bu bağlamda, fonksiyonel gıda pazarının %60 - 70 gibi büyük bir kısmını oluşturan probiyotik ürünler, tüketici farkındalığının artmasıyla birlikte küresel bir ilgi odağı haline gelmiştir. Probiyotik terimi, "yeterli miktarlarda vücuda alındıklarında konakçının sağlığına yarar sağlayan canlı mikroorganizmalar" olarak tanımlanmaktadır (Akan & Kınık, 2015). Probiyotik beslenme düzeninde yer alan diğer temel kavramlar şunlardır:

Prebiyotikler, üst gastrointestinal sistemde sindirilmeyen, kolondaki faydalı bakterilerin büyümesini seçici olarak uyaran gıda bileşenleridir (Gibson & Roberfroid, 1995).

Sinbiyotikler, hem probiyotikleri hem de prebiyotikleri bir arada bulunduran ve aralarında sinerjik bir ilişkinin olduğu ürünlerdir (Homayouni vd., 2008; Çeltik vd., 2022).

Postbiyotikler ve parabiyoitkiler, canlı olmayan hücreleri veya bunların metabolitlerini ifade eden, sağlığa faydalı etkileri kanıtlanmış yeni nesil biyotik sınıflarıdır (Dahiya & Nigam, 2023).

Bir ürünün probiyotik olarak nitelendirilebilmesi için tüketim anında belirli bir canlı hücre sayısına (genellikle 10^6 - 10^7 KOB/mL veya g) sahip olması gerekmektedir (Akan & Kınık, 2015).

Probiyotik beslenmenin temel amacı, bağırsak mikrobiyotasının doğal dengesini korumak ve patojenlerin gelişimine karşı direnç oluşturmaktır (Akan & Kınık, 2015). Araştırmalar probiyotiklerin çok yönlü faydalarını rapor etmiştir. Gastrointestinal sağlık üzerine özellikle çocuklarda rotavirüs kaynaklı ishalin önlenmesinde (Saavedra vd., 1994) ve antibiyotik kaynaklı ishal semptomlarının hafifletilmesinde etkili oldukları kanıtlanmıştır (Arvola vd., 1999).

Ayrıca, vücudun immün fonksiyonlarını uyarırken (Gill vd., 2001), serum kolesterol seviyelerini ve kan basıncını düşürmeye yardımcı olmaktadır (Akan & Kınık, 2015).

Antikarsinogenik etkiler gösterebildikleri gibi (Hirayama & Rafter, 2000), mikrobiyota kompozisyonundaki değişikliklerin konakçının ruh hali ve psikolojisi üzerinde etkili olabildiği bildirilmektedir (Dahiya & Nigam, 2023).

Probiyotik suşların starter kültür olarak kullanılması, fermentasyonun gıdayı koruma özelliği ile probiyotiklerin sağlık faydalarını birleştirmektedir. Fermentasyon süreci gıdanın duysal özelliklerini geliştirirken antibesinsel faktörleri azaltmaktadır (Gupta & Abu-Ghannam, 2012). Örneğin, buğday kepeğinin probiyotiklerle fermente edilmesi, çözünmeyen diyet lifinin yapısını değiştirerek antioksidan kapasitesini arttırmaktadır (Liao vd., 2022). Dünya nüfusunun yaklaşık %75'inde görülen laktoz intoleransı ve vegan beslenme tercihleri nedeniyle süt ürünlerinden bitkisel kaynaklı probiyotiklere geçiş hızlanmıştır (Akan & Kınık, 2015; Dahiya & Nigam, 2022). Yulaf, mısır ve pirinç probiyotikler için mükemmel substratlardır (Gupta & Abu-Ghannam, 2012). Ayrıca meyve ve sebze suları, probiyotiklerin taşınması için uygun bir matris sunmaktadır (Dahiya & Nigam, 2022).

Tarhana, boza ve şalgam suyu hem probiyotik hem de prebiyotik özellikleri nedeniyle doğal sinbiyotik gıdalar olarak değerlendirilir (Çeltik vd., 2022). Düşük pH ve yüksek oksijen seviyeleri gibi çevresel stres

faktörleri probiyotik canlılığını tehdit etmektedir (Akan & Kınık, 2015). Bu sorunu aşmak için mikroorganizmaların gastrointestinal sistemdeki zorlu koşullara karşı korunmasını sağlayan mikroenkapsülasyon teknikleri geliştirilmektedir (Gupta & Abu-Ghannam, 2012; Akan & Kınık, 2015).

Probiyotik beslenme, fermentasyon teknolojisi ile birleşerek genel vücut sağlığını optimize eden bütünsel bir yaklaşım sunmaktadır (Akan & Kınık, 2015). Gelecekte, özellikle bitkisel kaynaklı substratların probiyotiklerle işlenmesi, sürdürülebilir gıda sistemleri için yeni fırsatlar oluşturacağı düşünülmektedir.

Vegan/vejetaryen beslenme ve fermentasyon ilişkisi

Geleneksel olarak süt bazlı ürünlerle özdeşleştirilen starter kültürler, günümüzde veganizm, laktoz intoleransı ve gluten hassasiyeti gibi kısıtlayıcı diyetlere uygun bitkisel matrislerle de sunulmaktadır (Mohd Zaini vd., 2023). Vegan beslenme, tüm hayvansal ürünlerden kaçınmayı gerektiren kısıtlayıcı bir modeldir ve bu durum süt ürünlerinin yerine geçecek fonksiyonel alternatiflerin aranmasına yol açmıştır (Kopacz vd., 2021).

Bitki bazlı süt alternatifleri genellikle B12 vitamini, kalsiyum ve bazı esansiyel amino asitler bakımından eksik olabilmektedir. Ancak, *Propionibacterium freudenreichii* ve *Limosilactobacillus reuteri* gibi suşlarla yapılan fermentasyon, bu ürünlerde B12 vitamini sentezini mümkün kılarak vegan diyetindeki eksiklikleri giderebileceği ifade edilmektedir (Mohd Zaini vd., 2023).

Fermentasyon, vegan diyetinde sıkça tüketilen baklagiller ve tahıllardaki FODMAP'lerin miktarını azaltarak, IBS riskini düşürmeye yardımcı olmaktadır (Kopacz vd., 2021).

Vegan peynir üretiminde yaygın olarak kuruyemişler veya baklagiller kullanılmaktadır. Özellikle kaju fıstığı, su ile öğütüldükten sonra *Leuconostoc mesenteroides* ve *Pediococcus pentosaceus* gibi LAB'leri ile fermente edilerek sürülebilir vegan ürünler elde edilmektedir (Tabanelli vd., 2018).

Hindistan cevizi, soya, badem ve kinoa sütleri, su kefir taneleri kullanılarak fermente edilmekte; bu süreç vegan içeceklere ferahlatıcı bir aroma ve yüksek probiyotik aktivite kazandırmaktadır (Gonçalves vd., 2025).

Glütensiz beslenmede fermantasyon teknolojisi

Glütensiz diyet, çölyak hastaları ve glüten hassasiyeti olan bireyler için zorunlu olmaktadır (Hernández-Figueroa vd., 2025). Fermantasyon, glütensiz ürünlerin teknolojik ve duyu kalitesini arttırmada kritik bir araçtır. Glütensiz hamurlar genellikle yapısal destekten yoksundur. Ekşi maya fermantasyonu sırasında LAB'leri tarafından üretilen EPS, ekmeğin gözenek yapısını iyileştirmekte, sertliğini azaltmakta ve bayatlamayı geciktirmektedir (Nionelli & Rizzello, 2016).

Glütensiz ürünlerde 20 ppm glüten miktarı için kritik değerdir. Seçilmiş LAB suşları ve fungal proteazların birlikte kullanımı, tahıl matrisindeki toksik glüten epitoplarını tamamen hidrolize ederek glüten seviyesini 20 ppm'in altına indirebilmektedir (Nionelli & Rizzello, 2016; Hernández-Figueroa vd., 2025).

Glütensiz ürünlerin üretiminde kullanılan genellikle nişasta bazlı hammaddelerin fermente edilmesi ile vücutta enflamasyonun azaltılmasına katkı sağladığı belirtilmektedir. Çalışmalar, ekşi maya ile fermente edilmiş pirinç, mısır veya amarant unlarının, çölyak hastalarının duodenal mukozasındaki nitrik oksit ve proenflamatuar sitokin salınımını azalttığını göstermiştir (Calasso vd., 2012).

Bir başka çalışmada, pirinç ununa yonca tohumu unu eklenerek yapılan glütensiz kurabiyelerin fermantasyonu, lignan ve fenolik asitlerin biyoyararlanımını artırarak kısa zincirli yağ asidi üretimini teşvik ettiği ifade edilmiştir (Rocchetti vd., 2019).

Laktozsuz beslenmede fermantasyon stratejileri

Laktoz intoleransı, süt şekerini (laktoz) parçalayan laktaz enziminin eksikliğinden kaynaklanmaktadır (İbrahim vd., 2021). Fermente süt ürünleri (özellikle yoğurt), doğal laktaz enzimi kaynağı olup laktik asit bakterileri tarafından üretilen β -galaktosidaz (laktaz) enzimini içermektedir (İbrahim vd., 2021; Molnár vd., 2024). Bu enzim, gıda tüketildikten sonra bağırsakta laktozun sindirilmesine yardımcı olarak intolerans semptomlarını hafifletmektedir (İbrahim vd., 2021).

Laktozsuz süt tüketimi, bağırsaktaki *Bifidobacteriaceae* seviyelerini etkileyebilir ve laktik asit fermantasyonu bağırsak homeostazını modüle etmektedir (Casciano vd., 2025). Probiyotik takviyeli meyve suları, laktoz

içermeyen bir probiyotik taşıyıcısı olarak süt ürünlerine alternatif sunmaktadır (Kopacz vd., 2021).

Fermantasyon, laktozsuz beslenmede hem gıdaların üretimi hem de vücut içindeki sindirim süreçleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Gıda işlemenin bir parçası olan fermentasyon, laktozu daha kolay emilebilir bileşenleri olan glikoz ve galaktoza hidrolize etmektedir. Bu süreç, özellikle monogastrik canlıların (insanlar dahil) karbonhidrat moleküllerinden enerji metabolizması için tam olarak yararlanmasına yardımcı olmaktadır (Solomons, 2002). Fermantasyon veya laktaz tedavisi sonucunda oluşan glikoz ve galaktoz, laktozdan daha tatlı olup, bu durum yoğurt/meyveli yoğurt gibi ürünlerde ek şeker ihtiyacını %1,5-2 oranında azaltabilmektedir (Dekker vd., 2019).

Paleo beslenme ve fermentasyon

Paleolitik diyet, tarım devrimi öncesi insan beslenmesini taklit ederek tahıl, baklagil ve süt ürünlerini dışlar. Paleo diyetini benimseyen toplulukların (örneğin Hadza kabilesi), modern batı diyetine kıyasla çok daha yüksek mikrobiyal çeşitliliğe sahip olduğu saptanmıştır (Zopf vd., 2018; Valentino vd., 2024).

Tahılların dışlanması dirençli nişasta alımını azaltabilmekte, bu da bağırsakta koruyucu kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini düşürebilmekte ve kardiyovasküler sağlık üzerinde risk oluşturabilmektedir (Merra vd., 2022).

Paleo diyetinde fermentasyon, diyetin izin verdiği sebze, meyve ve kök bitkilerin (örneğin fermente lahana/sauerkraut veya fermente yumrular) işlenmesinde kullanılarak probiyotik alımını desteklemektedir (Kopacz vd., 2021; Merra vd., 2022).

Fermantasyon, modern diyetlerin kısıtlılıklarını aşmada ve besin kalitesini yükseltmede hayati bir öneme sahiptir. Vegan diyetinde besin eksikliklerini gideren bir fortifikasyon aracı, glütensiz beslenmede teknolojik ve biyolojik iyileştirici, laktozsuz beslenmede sindirimi kolaylaştırıcı ve paleo diyetinde mikrobiyota desteği olarak işlev göstermektedir (Nionelli & Rizzello, 2016; Mohd Zaini vd., 2023). Gelecekte, kişiselleştirilmiş beslenme modellerinde fermente fonksiyonel gıdaların kullanımı sağlık açısından temel bir strateji olmaya devam edecektir.

Fermantasyonun insan sağlığını geliştirmedeki rolü: GAPS ve IBS

İrritabl Bağırsak Sendromu (IBS), karın ağrısı, şişkinlik, gaz, ishal veya kabızlık gibi semptomlarla karakterize, dünya nüfusunun yaklaşık %7 - 21'ini etkileyen fonksiyonel bir bağırsak bozukluğudur (Menezes vd., 2019). Bu semptomların azaltılmasında "düşük FODMAP diyeti" yaygın bir tedavi yöntemi olmaktadır. Fermantasyon, IBS yönetiminde iki temel mekanizma ile devreye girmektedir. Birincisi semptom tetikleyicilerin azaltılmasıdır. Fermantasyon süreçleri (örneğin ekşi maya), gıdalardaki yüksek FODMAP içeriğini parçalayarak bu gıdaların IBS hastaları tarafından daha iyi tolere edilmesini sağlamaktadır (Ispiryan vd., 2022).

İkincisi ise fermente gıdaların birçoğunun probiyotik kaynağı olmasıyla ortaya çıkmaktadır. Fermente gıdalar (özellikle fermente sütler), bağırsak mikrobiyotasını modüle edebilen probiyotik mikroorganizmaları içerir. Yapılan meta analizler, fermente süt ürünlerinin IBS semptomlarının hafifletilmesinde faydalı olabileceğini göstermektedir (Ding vd., 2025).

GAPS gibi yaklaşımların temel aldığı Mikrobiyota-Bağırsak-Beyin Eksenini, bağırsak mikrobiyotasının merkezi sinir sistemi ile çift yönlü iletişimini tanımlamaktadır (Schneider vd., 2024). Fermantasyonun bu eksen üzerindeki etkisi üç başlık altında toplanmaktadır.

a. Psikobiyotik Etki: Fermantasyon sırasında bağırsak sağlığını etkileyen ve psikobiyotik olarak adlandırılan nöroaktif bileşikler üretilmektedir. Fermantasyon sırasında üretilen GABA (gama-aminobütirik asit), serotonin ve triptofan gibi nöroaktif bileşikler, genel zihinsel refahı ve bilişsel fonksiyonları desteklemektedir (Oroojzadeh vd., 2022; Balasubramanian vd., 2024).

Psikobiyotikler olarak adlandırılan özel probiyotik suşlarını içeren fermente gıdalar; kaygı, depresyon ve otizm spektrum bozukluğu olan bireylerde destekleyici bir tedavi seçeneği olarak görülmektedir (Oroojzadeh vd., 2022). Bu gıdalar, bağırsak bariyer bütünlüğünü koruyarak sistemik enflamasyonu azaltmakta ve nöroenflamasyonu önleme potansiyeline sahip olmaktadır (Balasubramanian vd., 2024).

b. İnflamasyon Kontrolü: Fermente gıdalar, sistemik enflamasyon markerlarını (IL-6 gibi) azaltarak beyin fonksiyonlarını koruyucu etki yapabilir (Wastyk vd., 2021).

c. Besin Emilimi: Fermantasyon, gıdalardaki antibesinsel faktörleri (fitik asit gibi) azaltarak magnezyum ve çinko gibi zihinsel sağlık için kritik minerallerin biyoyararlanımını arttırmaktadır (Schneider vd., 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Fermantasyon teknolojisi, antik çağlardan günümüze uzanan binlerce yıllık geçmişiyle sadece bir gıda koruma yöntemi değil, aynı zamanda modern beslenme biliminin merkezinde yer alan stratejik bir biyoteknolojik araçtır. Kaynaklar, fermantasyonun gıda matrislerinin besinsel, duyuusal ve biyoaktif özelliklerini dönüştürerek; vitamin sentezi (B12, K2, folat), protein sindirilebilirliğinin artırılması ve esansiyel amino asitlerin biyoyararlanımının sağlanması gibi pek çok avantaj sunduğunu göstermektedir. Özellikle bitkisel kaynaklı gıdalarda bulunan ve minerallerin emilimini engelleyen fitat, tanen ve tripsin inhibitörleri gibi antibesinsel faktörlerin fermantasyon yoluyla azaltılması, bu yöntemi özel beslenme gereksinimleri için vazgeçilmez kılmaktadır.

Özel beslenme modelleri açısından bakıldığında fermantasyon; vegan beslenmede B12 vitamini eksikliğini giderecek fortifikasyon imkanı sunarken, çölyak hastaları için glütensiz ürünlerin dokusunu iyileştirmekte ve toksik glüten epitoplarını kritik seviyelerin altına indirebilmektedir. Laktoz intoleransı olan bireylerde, fermente süt ürünlerindeki laktaz aktivitesi sayesinde sindirimi kolaylaştırmakta; IBS ve GAPS gibi rahatsızlıklarda ise düşük FODMAP içeriği ve probiyotik desteği ile semptomların hafifletilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, mikrobiyota-bağırsak-beyin eksenini üzerinden etki eden psikobiyotik bileşenlerin üretimi, fermantasyonun zihinsel sağlık üzerindeki koruyucu ve destekleyici potansiyelini de ortaya koymaktadır.

Bireylerin fermente gıdalara verdiği tepkiler yaş, cinsiyet ve başlangıçtaki sağlık durumuna göre farklılık gösterebilir. Örneğin, fermente süt ürünlerinin metabolik sendrom üzerindeki etkileri bireyin mikrobiyota kompozisyonuna göre değişebilmektedir. Gelecekte, kişinin genetik ve mikrobiyota profiline uygun "tasarlanmış fermente gıdalar" ön plana çıkacaktır.

Fermantasyon teknolojisi, gıda sürdürülebilirliğinden kişiselleştirilmiş tıp stratejilerine kadar geniş bir alanda kritik çözümler sunmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasını dengeleyen, besinsel biyoyararlanımı artıran ve anti-besinsel faktörleri minimize eden bu kadim yöntem, modern beslenme biliminin temel taşlarından biri olmaya devam edecektir.

KAYNAKÇA

- Akan, E., & Kınık, Ö. (2015). Gıda üretimi ve depolanması sırasında probiyotiklerin canlılıklarını etkileyen faktörler. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 155-166. <https://doi.org/10.18466/cbujos.83380>
- Arvola, T., Laiho, K., Torkkeli, S., Mykkänen, H., Salminen, S., Maunula, L., & Isolauri, E. (1999). Prophylactic *Lactobacillus* GG reduces antibiotic-associated diarrhea in children with respiratory infections: a randomized study. *Pediatrics*, 104(5), e64-e64. <https://doi.org/10.1542/peds.104.5.e64>
- Balasubramanian, R., Schneider, E., Gunnigle, E., Cotter, P. D., & Cryan, J. F. (2024). Fermented foods: Harnessing their potential to modulate the microbiota-gut-brain axis for mental health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 158, 105562. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105562>
- Bell, V., Ferrão, J., & Fernandes, T. (2017). Nutritional guidelines and fermented food frameworks. *Foods*, 6(8), 65. <http://dx.doi.org/10.3390/foods6080065>
- Calasso, M., Vincentini, O., Valitutti, F., Felli, C., Gobetti, M., & Di Cagno, R. (2012). The sourdough fermentation may enhance the recovery from intestinal inflammation of coeliac patients at the early stage of the gluten-free diet. *European Journal of Nutrition*, 51, 507–512. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0303-y>
- Casciano, F., Nissen, L., Bordoni, A., & Gianotti, A. (2025). Are “Free From” Foods Risk-Free? Lactose-Free Milk Fermentation Modulates Normal Colon in a Gut Microbiota in Vitro Model. *Microorganisms*, 13, 2021. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13092021>
- 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. <https://doi.org/10.3390/fermentation9010001>
- Çelikel, A., Göncü, B., Akın, M. B., & Akın, M. S. (2018). Süt ürünlerinde probiyotik bakterilerin canlılığını etkileyen faktörler. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 8(1/2), 59-126.
- Çeltik, C., Tayfun, K., & Müslümanoğlu, A. Y. (2022). Simbiyotik özellikli gıdalar. *Bütünleyici ve Anadolu Tıbbi Dergisi*, 3(2), 3-12. <https://doi.org/10.53445/batd.1058749>
- Dekker, P. J. T., Koenders, D., & Bruins, M. J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), 551. <https://doi.org/10.3390/nut11030551>
- De Vuyst, L., Comasio, A., & Van Kerrebroeck, S. (2023). Sourdough production: Fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2447–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>
- Ding, L., Duan, J., Yang, T., Yuan, M., Ma, A. H., & Qin, Y. (2025). Efficacy of fermented foods in irritable bowel syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1494118. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1494118>
- García, K.E., de Souza, T.C.R., Landín, G.M., Barreiro, A.A., Santos, M.G.B., & Soto, J.G.G. (2014). Microbial Fermentation Patterns, Diarrhea Incidence, and Performance in Weaned Piglets Fed a Low Protein Diet Supplemented with Probiotics. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 1776-1786. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2014.518191>
- Gibson, P. R., Halmos, E. P., & Muir, J. G. (2020). Review article: FODMAPS, prebiotics and gut health—the FODMAP hypothesis revisited. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 52(2), 233–246. <https://doi.org/10.1111/apt.15818>
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of nutrition*, 125(6), 1401-1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>

- Gill, H. S., Rutherford, K. J., Cross, M. L., & Gopal, P. K. (2001). Enhancement of immunity in the elderly by dietary supplementation with the probiotic *Bifidobacterium lactis* HN019. *The American journal of clinical nutrition*, 74(6), 833-839. <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.6.833>
- Gupta, S. & Abu-Ghannam, N. (2012). Probiotic Fermentation of Plant Based Products: Possibilities and Opportunities, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(2), 183-199. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499779>
- Gruskiene, R., Bockuviene, A., & Sereikaite, J. (2021). Microencapsulation of bioactive ingredients for their delivery into fermented milk products: A review. *Molecules*, 26(15), 4601. <https://doi.org/10.3390/molecules26154601>
- Gonçalves, G. C. V., Weis, C. M. S. C., Wolff, É. R., Alves, V., Sanches, F.L., Tormen, L., Treichel, H. & Bertan, L.C. (2025). Vegan Fermented Drinks as an Alternative to Milk: Trend or Challenge? *Food Science and Engineering*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.37256/fse.6120255396>
- Hernández-Figueroa, R. H., López-Malo, A., & Mani-López, E. (2025). Sourdough Fermentation and Gluten Reduction: A Biotechnological Approach for Gluten-Related Disorders. *Microbiological Research*, 16, 161. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16070161>
- Hirayama, K., & Rafter, J. (2000). The role of probiotic bacteria in cancer prevention. *Microbes and infection*, 2(6), 681-686. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)00357-9](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)00357-9)
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M. R., Yarmand, M. S., & Razavi, S. H. (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food chemistry*, 111(1), 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.036>
- Iacovou, M., Tan, V., Muir, J. G., & Gibson, P. R. (2015). The Low FODMAP Diet and Its Application in East and Southeast Asia. *Journal of Neurogastroenterology and Motility*, 21(4), 459-470. <https://doi.org/10.5056/jnm15111>
- Ibrahim, S. A., Gyawali, R., Ayivi, R. D., Silva, R.C., Subedi, K., Aljaloud, S.O., Siddiqui, S.A. & Krastanov, A. (2021). Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research*, 88, 357-365. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000625>
- Ispiryan, L., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2022). FODMAP modulation as a dietary therapy for IBS: Scientific and market perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1491-1516. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12903>
- Judijanto, L., Tasya, A., & Firayani. (2025). Fermented foods as a modern nutrition trend: Health benefits and implications for a healthy diet. *Journal of Nutrizione*, 2(1). <https://doi.org/10.62872/2qh95s56>
- Karaçıl, M. Ş., & Acar Tek, N. (2013). Dünyada üretilen fermente ürünler: Tarihsel süreç ve sağlık ile ilişkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 163-173.
- Kılıç Kanak, E., & Yılmaz, S. Ö. (2019). Probiyotik mayalar ve probiyotik gıdalarda mayaların rolü. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(9), 1268-1274. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i9.1268-1274.2170>
- Kopacz, M., Piekara, A., & Krzywonos, M. (2021). Fermented Vegan Foods. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 28(3), 147-159. <http://doi.org/10.15193/zntj/2021/128/396>
- Laatikainen, R., Koskenpato, J., Hongisto, S. M., Loponen, J., Poussa, T., Hillilä, M., & Korpela, R. (2016). Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 44(5), 460-470. <https://doi.org/10.1111/apt.13726>
- Liao, A.-M., Zhang, J., Yang, Z.-L., Huang, J.-H., Pan, L., Hou, Y.-C., Li, X.-X., Zhao, P.-H., Dong, Y.-Q., Hu, Z.-Y. & Hui, M. (2022). Structural, Physicochemical, and Functional Properties of Wheat Bran Insoluble Dietary Fiber Modified With Probiotic Fermentation. *Frontier in Nutrition*, 9, 803440. <http://doi.org/10.3389/fnut.2022.803440>

- Li, H., Zhang, T., Li, C., Zheng, S., Li, H., & Yu, J. (2020). Development of a microencapsulated synbiotic product and its application in yoghurt. *Lwt*, 122, 109033. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109033>
- Merra, G., Capacci, A., Cennamo, G., Esposito, E., Dri, M., Di Renzo, L. & Marchetti, M. (2022). Effects of Paleo Diet on Microbiota and Correlated Diseases. *Annals of Clinical Case Reports*, 7, 2204.
- Menezes, L. A. A., Molongoni, L., de Sá Plôencio, L. A., Costa, F. B. M., Daguer, H., & De Dea Lindner, J. (2019). Use of sourdough fermentation to reducing FODMAPs in breads. *European Food Research and Technology*, 245(6), 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03239-7>
- Mohd Zaini, N. S., Khudair, A. J. D., Gengan, G., Rahim, M.H.A., Hussin, A.S.M., Idris, H. & Mohsin, A.Z. (2023). Enhancing the nutritional profile of vegan diet: A review of fermented plant-based milk as a nutritious supplement. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105567. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105567>
- Molnár, J., Kalocsai, R., Szakál, P., Szakál, T. & Vasas, D. (2024). Lactose intolerance: The most significant nutritional recommendations of lactose free diet. *BIO Web of Conferences*, 125, 02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412502001>
- Mukherjee, A., Breselge, S., Dimidi, E., Marco, M. L., & Cotter, P. D. (2024). Fermented foods and gastrointestinal health: underlying mechanisms. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 21(4), 248-266. <https://doi.org/10.1038/s41575-023-00869-x>
- Nionelli, L., & Rizzello, C. G. (2016). Sourdough-Based Biotechnologies for the Production of Gluten-Free Foods. *Foods*, 5, 65. <https://doi.org/10.3390/foods5030065>
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, A. G., & Ruzzi, M. (2019). Health-promoting components in fermented foods: An up-to-date systematic review. *Nutrients*, 11(5), 1189. <https://doi.org/10.3390/nu11051189>
- Oroojzadeh, P., Bostanabad, S. Y., & Lotfi, H. (2022). Psychobiotics: the Influence of Gut Microbiota on the Gut-Brain Axis in Neurological Disorders. *Journal of Molecular Neuroscience*, 72, 1952–1964. <https://doi.org/10.1007/s12031-022-02053-3>
- Öztürk, R. (2022). Pirinç Sütü Ve Nohut Sütü Kullanılarak Probiyotik Fermente İçecek Üretimi. Yüksek Lisans tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi
- Pitsch, J., Sandner, G., Huemer, J., Huemer, M., Huemer, S. & Weghuber, J. (2021). FODMAP Fingerprinting of Bakery Products and Sourdoughs: Quantitative Assessment and Content Reduction through Fermentation. *Foods*, 10, 894. <https://doi.org/10.3390/foods10040894>
- Rocchetti, G., Senizza, A., Gallo, A., Lucini, L., Giuberti, G. & Patrone, V. (2019). In vitro large intestine fermentation of gluten-free rice cookies containing alfalfa seed flour. *Food Research International*, 120, 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.003>
- Saavedra, J. M., Bauman, N. A., Perman, J. A., Yolken, R. H., & Oung, I. (1994). Feeding of *Bifidobacterium bifidum* and *Streptococcus thermophilus* to infants in hospital for prevention of diarrhoea and shedding of rotavirus. *The Lancet*, 344(8929), 1046-1049. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)91708-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)91708-6)
- Sağlam, H., Karahan Çakmakçı, A. G. & Çakmakçı, M. L. (2020). Fermente ürünler teknolojisi ve mikrobiyolojisi. Erkmen, O., Erten, H., Sağlam, H. (Editörler), *Fermentasyon teknolojisine giriş* (s. 1-32). Ankara: Nobel.
- Schneider, E., Balasubramanian, R., Ferri, A., Cotter, P. D., Clarke, G., & Cryan, J. F. (2024). Fibre & fermented foods: differential effects on the microbiota-gut-brain axis. *Proceedings of the Nutrition Society*, 84, 365–380. <https://doi.org/10.1017/S0029665124004907>
- Solomons, N. W. (2002). Fermentation, fermented foods and lactose intolerance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56(Suppl 4), S50–S55. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601663>

- Stanton, C., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Van Sinderen, D. (2005). Fermented functional foods based on probiotics and their biogenic metabolites. *Current opinion in biotechnology*, 16(2), 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.008>
- Şengün, İ. Y. (2011). Fermente gıdaların üretiminde kullanılan laktik asit bakterileri. *Biological Diversity and Conservation*, 4(1), 42-53.
- Tabanelli, G., Pasini, F., Riciputi, Y., Vannini, N., Gozzi, G., Balastra, F., Caboni, M.F., Gardini, F. & Montanari, C. (2018). Fermented nut-based vegan food: Characterization of a home made product and scale-up to an industrial pilot-scale production. *Journal of Food Science*, 83(3), 711–722. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14036>
- Tuck, C., Ly, E., Bogatyrev, A., Costetsou, I., Gibson, P., Barrett, J., & Muir, J. (2018). Fermentable short chain carbohydrate (FODMAP) content of common plant-based foods and processed foods suitable for vegetarian- and vegan-based eating patterns. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31(3), 422–435. <https://doi.org/10.1111/jhn.12546>
- Valentino, V., Magliulo, R., Farsi, D., Cotter, P. D., O'Sullivan, O., Ercolini, D., & De Filippis, F. (2024). Fermented foods, their microbiome and its potential in boosting human health. *Microbial biotechnology*, 17(2), e14428. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14428>
- Wastyk, H. C., Fragiadakis, G. K., Perelman, D., Dahan, D., Merrill, B. D., Yu, F. B., Topf, M., Gonzalez, C. G., Treuren, W. V., Han, S., Robinson, J. L., Elias, J. E., Sonnenburg, E. D., Gardner, C. D., & Sonnenburg, J. L. (2021). Gut-microbiota-targeted diets modulate human immune status. *Cell*, 184(16), 4137-4153. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.06.019>
- Zopf, Y., Reljic, D., & Dieterich, W. (2018). Dietary Effects on Microbiota—New Trends with Gluten-Free or Paleo Diet. *Medical Sciences*, 6, 92. <https://doi.org/10.3390/medsci6040092>

GERİATRİK BESLENME MÜHENDİSLİĞİ: YAŞLI BİREYLERDE MALNÜTRİSYONU ÖNLEYİCİ FONKSİYONEL GIDALAR

Fatma Nur Demirbaş*

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 65 yaş ve üzeri küresel nüfusun 2020 yılında 727 milyon olduğunu bildirirken, 2050 yılına kadar 1,5 milyara (Cosentino vd., 2020; United Nations, 2020), 2070 yılına kadar ise 2,2 milyara ulaşacağını belirtmekte ve 18 yaş altı nüfusu geçeceğini öngörmektedir (Qiu vd., 2026). Doğurganlık oranlarının düşmesi ve yaşam süresinin artması, dünya genelinde yaşlanan bir nüfusa doğru demografik değişim ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde yaşlı nüfus oranının 2025 yılında %11,1 olduğu, 2040 yılında %17,9, 2060 yılında %27, 2080 yılında %33,4 ve 2100 yılında ise %33,6 olacağı öngörülmektedir (TÜİK, 2025). Küresel nüfustaki yaşlı bireylerin oranı arttıkça, yaşam kaliteleri ve genel sağlıkları hakkında endişeler artmaktadır. WHO 60 yaş ve üstü bireyleri “yaşlı yetişkinler” olarak sınıflandırmakta ve fiziksel sağlık, zihinsel iyilik hâli ve sosyal uyumun önemini vurgulayarak sağlıklı yaşlanma kavramını ortaya koymuştur (Qiu vd., 2026). 21. yüzyılın kaçınılmaz sosyoekonomik ve tıbbi gerçeklerinden birinin "küresel yaşlanma" olduğunu göstermektedir. Azalan fizyolojik durumlar ve stres faktörlerine karşı artan savunmasızlık ile karakterize edilen çok boyutlu bir sendrom olan kırılganlık (frailty) (Clegg vd., 2013), malnütrisyon (Da Costa & Cebola, 2023) ve iki veya daha fazla kronik rahatsızlığın birlikte görülmesi olan çoklu hastalık, yaşlanan popülasyonlarda sağlık hizmeti maliyetlerini, fonksiyonel bağımsızlığı ve ölüm riskini etkileyen önemli halk sağlığı sorunlarını temsil etmektedir (Clegg vd., 2013). Demografik değişim, geriatric popülasyonda yaşam kalitesinin sürdürülmesi ve kronik hastalıkların yönetimi noktasında multidisipliner yaklaşımları mecburi kılmaktadır. Bu yaklaşımların merkezinde ise geleneksel beslenme biliminin sınırlarını aşan ve mühendislik perspektifinden gıda matrislerine entegre eden "Geriatric Beslenme Mühendisliği" yer almaktadır.

* Dr. Öğretim Üyesi, Trabzon Üniversitesi, Tonya Meslek Yüksekokulu, Sağlık Bakım Hizmetleri Bölümü, Trabzon, fatmanurdemirbas@trabzon.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1647-285X>

Geriatrik beslenme mühendisliği, yaşlanan organizmanın değişen fizyolojisini, metabolik ihtiyaçlarını, çiğneme/yutma gibi mekanik kısıtlamalarını ve mikroflora disbiyozisini temel alarak, yaşlı bireylere özel proaktif gıda matrisleri tasarlayan bir disiplindir. Geleneksel yaklaşım, malnütrisyonu saptadıktan sonra hastaya medikal beslenme ürünleri (oral nütrisyonel destekler / ONS) reçete edilmesini içeren reaktif bir yapıya sahipken; geriatrik beslenme mühendisliği, yaşlı bireyin günlük diyetinin bir parçası olarak tüketebileceği, duyuşal kabulü yüksek, biyoerişilebilirliği optimize edilmiş fonksiyonel gıdaların geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu disiplin reoloji, biyoterapötik kapsülasyon, fermentasyon biyoteknolojisi ve ileri gıda işleme tekniklerini bir araya getirerek yaşlı bireyler için tasarlanan fonksiyonel gıdaları "yaşlı dostu gıda" kavramını literatüre kazandırmaktadır. Fonksiyonel gıdalar, yaşlı bireylerin gıda ihtiyaçlarını tam olarak karşılamak için iyi bir fırsat sunmaktadır (Ashaolu, 2020; Díaz vd., 2020).

Bu bölüm, yaşlı bireylerde malnütrisyonun epidemiyolojisi, patofizyolojisi ve etkileri, yaşlanma ile meydana gelen değişiklikler, malnütrisyonun sonuçlarını ele alarak fonksiyonel gıdaların geriatrik beslenmedeki rolü, geriatrik fonksiyonel gıdaların formülasyonu ve üretim teknolojileri hakkında bilgileri içermektedir.

Yaşlı bireylerde malnütrisyonun epidemiyolojisi, patofizyolojisi ve etkileri

Yetersiz beslenmenin birincil etkeni olan yetersiz besin alımının yanı sıra, eğitim, sağlık durumu, gıda güvenliği, ekonomik ve çevresel şartlar gibi diğer faktörler de önemli bir rol oynamaktadır (Ahmed vd., 2022). Gıda güvensizliği, insanların fiziksel kalori ihtiyaçlarını karşılamak için gereken miktarda yiyeceği elde etme yeteneğini etkiler. Bu nedenle, yeterli kalori alımı olmadan, bir kişi günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirmek için enerji veya güç üretemeyebilir (Banerjee & Duflo, 2011). Yetersiz beslenen bireylerin vücut ağırlığı ve vücut fonksiyonları normalin altındadır. Bu durum birçok hastalığın gelişmesine yol açabilir. Yetersiz beslenme (yeterli miktarda besin alamama) diyetimizin doğru miktarda besin içermemesi durumunda ortaya çıkan ciddi bir rahatsızlık olarak tanımlanmaktadır (Browne vd., 2021; Valladares vd., 2022). Geriatrik malnütrisyon, yetersiz besin alımı, emilim bozuklukları ve/veya sistemik enflamasyon sonucunda vücut kompozisyonunda (özellikle yağsız vücut kütlelerinde) değişim ile birlikte fiziksel ve zihinsel fonksiyonlarda azalma

ile karakterize edilen akut veya kronik bir klinik durumdur. Geriatrik malnütrisyon, yaşlı ve kronik hastalığı olan hastalarda sağlık durumunun bozulmasına, morbidite ve mortalitenin artmasına neden olmaktadır (Avelino-Silva & Jaluul, 2017). Yaşlı bireylerde sıklıkla görülen hastalıklara bağlı malnütrisyon rejeneratif kapasitenin bozulmasıyla yaşın ilerlemesi neticesinde daha ciddi etkiler yaratabilir. Yetersiz beslenme, yalnızca bireysel sağlık sonuçlarını olumsuz etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda sağlık sistemleri üzerinde ciddi bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Böylece hastanede kalış süreleri uzamakta, tedavi maliyetleri yükselmekte ve iş gücü kayıpları sağlık ekonomisi açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir (Khalatbari-Soltani & Marques-Vidal, 2015). Epidemiyolojik veriler incelendiğinde, dünya nüfusunun hızla yaşlanmasıyla birlikte yetersiz beslenme, yaşlı bireyler için önemli bir halk sağlığı tehdidi haline gelmektedir; zira bu demografik grup fizyolojik ve sosyal açıdan daha savunmasız konuma gelmektedir (Ahmed vd., 2022). Malnütrisyonun en belirgin biyokimyasal sonuçlarından biri hızlanmış protein katabolizmasıdır. Bu süreç, kas kütlelerinde azalma, kas gücünde düşüş ve fiziksel performansta ciddi kayıplara yol açmaktadır (Lengel vd., 2021). Özellikle yaşlı bireylerde görülen bu katabolik durum, sarkopeni ve kırılabilirlik gibi klinik tabloların gelişimini hızlandırarak yaşam kalitesini ve bağımsızlığı olumsuz etkilemektedir (Coin vd., 2000). Yaşlı bireylerde malnütrisyonun epidemiyolojik zincirini kırmak, sadece klinik bir başarı değil, aynı zamanda makroekonomik bir zorunluluktur. Yaşlı bireylerde malnütrisyonun etiolojisinde yer alan etkenler “Dokuz D (Nine Ds)” şeklinde kısaltılmaktadır. Bunlar demans, depresyon, hastalık (disease), diş problemleri (dental problems), disfonksiyon, disfaji, tat bozukluğu (dysgeusia), diyare ve ilaç kullanımı (drugs) olarak sıralanmaktadır (Agarwal vd., 2013). Geriatrik hastalarda malnütrisyonu değerlendirmek için kullanılan çeşitli ölçütler arasında Mini Nütrisyonel Değerlendirme (MNA), Subjektif Global Değerlendirme (SGA) (Aksu, 2022), Nütrisyonel Risk Taraması (NRS-2002) (Ünsal & Halil, 2018), Malnütrisyon Evrensel Tarama Testi (MUST) (Volkert vd., 2022) ve Geriatrik Nütrisyonel Risk İndeksi (GNRI) gibi analizler bulunmaktadır (Dent vd., 2023).

İnsan vücudundaki tüm organlar ve fizyolojik süreçler yaşlanmadan etkilenmektedir (Rémond vd., 2015). Yaşlanma ile, yağsız kütle kaybı (özellikle sarkopeni olarak bilinen iskelet kası dokusu) ve yağ kütlelerinde artış ile yağ dağılımındaki değişiklikler (Genton vd., 2011), demans ve alzheimer hastalığı olan beyin fonksiyonlarındaki değişim (Anderton,

2002), duyuşsal algı, tükürük salgısı, ağız sağılığı, besin emilimi ve laktoz toleransında azalma ile seyreden gastrointestinal sistem (GIS) fonksiyonundaki değışiklikler (Gariballa & Sinclair, 1998), sıvı çıkışının artmasıyla karakterize sıvı dengesi değışikliği (Bunn vd., 2015), osteoporoz ve artritin düşme ve kırıklara yol açtığı kemik ve eklemlerde meydana gelen değışimler söz konusudur (Leveille, 2004). Örneğın, yaşılanmayla birlikte metabolik sistemde tip 2 diabetes mellitus ve dislipidemi gibi bozukluklar (Kirkman vd., 2011; Liu & Li, 2015), hücreşel büyüme ve proliferasyon mekanizmalarında değışiklikler ile kanser gelişimi riski (Falandry vd., 2014) ve kardiyovasküler sistem fonksiyonlarında değışimler ortaya çıkabilmektedir (North & Sinclair, 2012). Bununla birlikte, bireyler yaşılanma sürecinde birçok değışiklikle karşı karşıyadır ve bu durum sadece fizyolojik kısıtlamalarla sınırlı değıildir; sosyal, psikolojik ve ekonomik faktörler de yaşılanma sürecini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Tüm bu faktörler řu anda tek başına yoğun araştırma konusu olmaktadır. Bu faktörlerin etkileşimlerinin anlaşıması ve yaşılanan tüketici hakkında daha derin bir bilgi sahibi olunması, beslenme sorunlarının erken teşhisi ve tedavisi için açıkça büyük önem taşımaktadır; bu da yaşı bireylerde daha iyi sonuçlara ve daha iyi bir yaşam kalitesine yol açabilir (Agarwal vd., 2013).

Yutma güçlüğü (disfaji) prevalansı, popölasyona ve değıerlendirme yöntemlerine bağı olarak büyük ölçüde değışmekte olup, huzurevlerinde %56 ila %66, hastanelerde %9 ila %71 ve toplumda yaşıyan yaşı bireylerde %5 ila %34 arasında değışmektedir (Almeida vd., 2026). Aspirasyon ve disfaji riskindeki artış, yaşı bireylerde beslenme yetersizliği ve pnömoni gibi ciddi komplikasyonların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Muhle vd., 2015). Yaşı bireylerde disfaji sıklıkla presbifaji ile bağılantılıdır; bu, yutma fonksiyonunda yaşı bağı bir azalmadır ve eşlik eden hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar, yapısal değışiklikler, ilaç etkileri ve sarkopeni gibi kas bozuklukları tarafından şiddetlenmektedir (Raheem vd., 2021; Roberts vd., 2024). Yaşı bireyin katı ve heterojen gıdalardan kaçınmasına, bu da protein ve mikro besin ögesi yetersizliğine yol açabilir. Dişlerde meydana gelen kayıplar, yanlış protez kullanımı ve çiğneme etkinliğini azaltarak besinlerin yeterince parçalanmadan mideye ulaşmasına neden olmakta; bu durum sindirim sürecinin verimliliğini düşürerek besin öğelerinin biyoyararlanımını olumsuz etkilemektedir. Yukarıda belirtilen sebepler hem mekanik sindirim hem de nişasta gibi karbonhidratların kimyasal sindiriminin yavaşlamasına (Drossman &

Hasler, 2016; Khan vd., 2014), gıda bolusunun ıslatılmasının ve yutulmasının zorlaşmasına neden olur. Bunların tümü çiğnemeyi ve bolus oluşumunu bozar. Yaşlı bireylerde tükürük salgısında azalma (kserostomi) görülmekte; mide mukozası hücrelerinin atrofisine bağlı olarak gastrik hidroklorik asit (HCl) sekresyonu azalmakta ve intestinal mukozal atrofi ilerleyebilmektedir (Dikme, 2023). Mide asiditesinin düşmesi, proteinlerin denatürasyonunu ve pepsin aktivasyonunu engeller (Del Rio vd., 2021). Mide boşalma süresi genellikle uzar. Midede gıdaların uzun süre kalması, erken doyma ve iştahsızlık hissine yol açarak yaşlı bireylerde besin alımını daha da azaltabilmektedir. İnce bağırsak mukozasında villusların yüksekliği ve yüzey alanı genellikle sabit kalsa da, enterositlerin yenilenme hızındaki azalma emilim kapasitesinde hafif bir düşüşe neden olmaktadır. Bu durum yağda çözünen vitaminlerin (A, D, E, K) ve bazı minerallerin (kalsiyum, çinko, magnezyum) biyoyararlanımını olumsuz etkileyebilmektedir (Drozdowski & Thomson, 2006). Bununla birlikte, yaşlı bireylerin çoğunda makro besinlerin emiliminde belirgin bir değişiklik görülmemektedir; meydana gelen değişiklik, sindirim sonrası uzayan emilim süresi ve yavaşlayan enerji dengesidir.

Geriatrik malnütrisyonun patofizyolojisi, yetersiz besin alımı, yaşlanmaya bağlı düşük dereceli kronik enflamasyon ve nöroendokrin değişikliklerin karmaşık bir etkileşimidir (Mu vd., 2025). Kas kütesinin kaybı, solunum kaslarını da etkileyerek pulmoner kapasiteyi düşürür, miyokard atrofisine yol açar ve nihayetinde bireyi yatağa bağımlı hale getirir (Yoshida vd., 2025). Hücresel boyutta ise, esansiyel amino asitlerin ve mikronütrientlerin eksikliği, mitokondriyal disfonksiyona, reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışına ve hücresel yaşlanmanın (senescence) hızlanmasına neden olur (Li vd., 2023). Ulusal Sağlık ve Beslenme Araştırması (NHANES) çalışmaları yukarıda bahsi geçen durumlardan dolayı yaşlı bireylerin bilişsel fonksiyonlarda gerileme (demans ve Alzheimer semptomlarının şiddetlenmesi), anemi, immün yetmezlik ve homeostatik kırılganlık sendromu, vitamin, mineral ve kalsiyum eksikliklerine ve bağırsak geçirgenliğinde değişikliklere eğilimli olduğunu göstermektedir (Dikme, 2023).

Fonksiyonel gıdalar

Fonksiyonel gıdalar, besin değerlerine ek olarak sağlık yararları da sağlayarak gıda ihtiyaçlarını tam olarak karşılamak için potansiyel bir fırsat oluşturan ürünlerdir (Ashaolu, 2020; Díaz vd., 2020). Fonksiyonel

gıdanın güncel tanımı, "Sağlığı ve refahı iyileştirdiği iddia edilen biyolojik olarak aktif bileşikler içeren doğal, modifiye veya işlenmiş gıdalar olarak tanımlanmaktadır (Martirosyan & Miller, 2018). Fonksiyonel gıda kavramı ilk kez 1984 yılında Japonya'da ortaya çıkmıştır. Fonksiyonel gıdalar, biyoteknolojik işlemler kullanılarak besin maddelerinin ve bileşenlerinin eklendiği veya çıkarıldığı gıdalardır (Ahmed vd., 2022). Fizyolojik sağlık yararları ve kronik hastalık riskini azaltma kapasiteleri daha yüksektir (Ahmed vd., 2022). Fonksiyonel gıdaların içeriğinde antiinflamatuvar maddeler, antioksidan içeren bileşenler, antifungal maddeler, vitaminler ve mineraller bulunmaktadır (Teodoro, 2019). Fonksiyonel gıdalar metabolik sendrom, diyabet, kardiyovasküler hastalık ve osteoporoz gibi kronik hastalıkların riskini azaltmaya yönelik koruyucu etki gösterebilmekte ve bu nedenle günlük beslenme düzenine dahil edilebilmektedir (Hasler, 2002). Bu durumlarda, sağlığa faydalı etkiler sağlamak için bazı spesifik biyoaktif bileşenlerin tüketilmesi tercih edilir. Bununla birlikte fonksiyonel gıdalar, hastalar için bir hastalık tedavisi olarak kullanılamaz; çünkü günlük sağlık faydaları sınırlıdır (Ahmed vd., 2022).

Tüketicilerin beslenme ve sağlık arasındaki ilişkiye yönelik farkındalıklarının artması, fonksiyonel gıdalara olan talebin önemli ölçüde yükselmesine ve küresel fonksiyonel gıdalar pazarının istikrarlı bir büyüme göstermesine katkı sağlamaktadır (Baker vd., 2022). Horizon Grand View Research (2024) verilerine göre, küresel fonksiyonel gıdalar pazarı 2023 yılında yaklaşık 330 milyar ABD doları değerine ulaşmış olup, %8,6'lık yıllık bileşik büyüme oranı ile 2030 yılına kadar yaklaşık 586 milyar ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir. Gıda uzmanları ayrıca, 2050 yılında mevcut üretime kıyasla %30-70 daha fazla gıda üretilmesi gerektiğini tahmin etmektedir. Bu veriler fonksiyonel gıda endüstrisinin geleceğini şekillendirmektedir (Ahmed vd., 2022).

Fonksiyonel bileşenler ve etki mekanizmaları

a) Proteinler

Yaşlı bireylerde anabolik direncin aşılması ve sarkopenik sürecin durdurulması için esansiyel amino asit (EAA) profili yüksek proteinlerin kullanımı kritiktir. EAA içermeyen proteinlerin biyolojik değeri düşüktür. Hayvansal kaynaklı proteinlerin biyolojik değeri yüksektir (Sheffield vd., 2024). Proteinlerin yetersiz alımı sonucu kaslar, GIS, hematopoetik sistem,

karaciğer ve birçok doku fonksiyonları etkilenmektedir (Houston vd., 2008). Gıda mühendisliği, biyoaktif peptitlerin eldesi ve bitkisel/hayvansal proteinlerin kontrollü kombinasyonlarının kullanımı yoluyla, yaşlı bireylerin bağırsak yapısına uygun ve sindirimi kolay formülasyonlar geliştirmektedir (Baptista vd., 2024).

b) Prebiyotikler

Sindirim sisteminde parçalanmadan kolona ulaşan frukto-oligosakkaritler (FOS), galakto-oligosakkaritler (GOS) ve inülin gibi prebiyotik lifler, özellikle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türleri için temel enerji kaynağıdır. Bu bakterilerin gerçekleştirdiği fermantasyon süreci sonucunda ortaya çıkan kısa zincirli yağ asitleri (KZYA), bağırsak ekosisteminin dengelenmesine katkı sağlamakla kalmaz; aynı zamanda bağışıklık sistemi, metabolik sağlık ve enflamasyon kontrolü gibi sistemik düzeyde çok yönlü yararlar sunar (Kumari vd., 2024; Marnpae vd., 2024).

Prebiyotik açısından zengin beslenme modelleri, özellikle Akdeniz tipi diyet, bağırsak mikrobiyotasının çeşitliliğini koruyarak yaşlanma sürecinde ortaya çıkan olumsuz etkilerin hafifletilmesine katkı sağlar. Bu bağlamda, mikrobiyal dengeyi destekleyen beslenme müdahaleleri, yaşlılık döneminde gastrointestinal sağlığın sürdürülmesi için kritik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Deng vd., 2019).

c) Probiyotikler

Yaşlanmaya bağlı fizyolojik değişimler, yalnızca sindirim sürecini değil, bağırsak mikrobiyotasını da sistemik düzeyde etkiler. Mikrobiyal çeşitliliğin azalması, bağışıklık fonksiyonlarının zayıflaması ve kronik düşük dereceli enflamasyonun gelişmesiyle sonuçlanır (Franceschi vd., 2018). Bu enflamatuvar ortam, metabolik sendrom, ateroskleroz ve nörodejeneratif hastalıkların patogeneğinde önemli bir rol üstlenmektedir. Dolayısıyla, yaşlı bireylerde probiyotik ve prebiyotik takviyeleri, mikrobiyota dengesinin korunmasına yönelik kritik bir beslenme stratejisi olarak değerlendirilmektedir (O'Toole & Jeffery, 2018; Deng vd., 2019).

Genç bireylerde *Bacteroidetes* ve *Firmicutes* baskınken, yaşlı bireylerde bu oran değişir; özellikle faydalı *Bifidobacterium* türlerinde azalma, *Enterobacteriaceae* türlerinde artış gözlenir (O'Toole & Jeffery, 2018). Bu dengenin bozulması, bağırsak mukozasında düşük düzeyli enflamasyon, immün yanıt zayıflığı ve metabolik bozukluklara neden olabilir. *Lactobacillus acidophilus*, *Levilactobacillus brevis*,

Limosilactobacillus reuteri ve *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* gibi suşlar, geriatrik formülasyonlarda hücresel yaşlanmayı ve düşük dereceli enflamasyonu baskılamak amacıyla kullanılmaktadır (Mu vd., 2025).

Probiyotiklerin en kritik etki mekanizmalarından biri de Bağırsak-Beyin Aksı (Gut-Brain Axis) üzerinedir (Gyriki vd., 2025). Bağırsakta sentezlenen nörotransmitterlerin (GABA, serotonin) ve vagus siniri uyarımının, yaşlı bireylerde malnütrisyondan psikolojik bacağı olan anoreksiyi (iştahsızlık) ve kognitif gerilemeyi hafiflettiği klinik çalışmalarla gösterilmiştir (O'Connell vd., 2026).

Klinik çalışmalarda, ince bağırsakta aşırı bakteri üremesinin, *Bifidobacteria* ve *Faecalibacterium prausnitzii* düzeylerindeki azalmanın ve *Proteobacteria* düzeylerindeki artışın yaşlı bireylerin beslenme durumu ve bağırsak sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir. Bu değişiklikler KZYA'ni sentezleme yeteneğinin azalmasına sebep olabilmektedir (Molina-Molina vd., 2020).

d) Omega-3 yağ asitleri

Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) sınıfında yer alan eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA), geriatrik beslenmede güçlü anti-inflamatuar lipid medyatörleri (resolvinler ve protektinler) aracılığıyla etki gösterir. Özellikle EPA ve DHA gibi uzun zincirli omega-3 yağ asitleri, somon, uskumru gibi yağlı balıklarda ve bazı mikroalglerde bulunur. Omega-3 yağ asitleri kan lipid profilini iyileştirerek, kan basıncını düşürerek, anti-inflamatuar etki göstererek ve nörolojik gelişimi destekleyerek kardiyovasküler ve beyin sağlığına katkıda bulunur (Calder, 2015; Koeder & Perez-Cueto, 2024).

e) Vitaminler-mineraller

Geriatrik malnütrisyonla sıklıkla mikronütrient eksiklikleri eşlik eder. Yaşlanma, serbest radikal birikimi ve oksidatif stresle yakından ilişkilidir. Yaşlı organizmada emilim ve metabolizma dinamikleri değiştiği için spesifik vitamin ve minerallerin matris içinde korunması şarttır. B12 ve demir emilimi yaşlı bireylerde azalabilir (Dikme, 2023). C vitamini, E vitamini ve beta-karoten DNA'yı oksidatif hasara karşı korur. C vitamini serbest radikalleri temizler, E vitamini lipid peroksidasyonunu önleyerek hücre zarını korur (Peng vd., 2014). C vitamini takviyeleri bağışıklık sistemini güçlendirdiği için enfeksiyona karşı etkili bir şekilde koruma sağlayabilmektedir (Lykkesfeldt, 2020).

f) Polifenoller

Flavonoidler antibakteriyel, antienflamatuar, antioksidan ve immünomodülatör yetenekler gibi güçlü fizyolojik aktivitelere sahiptir (Liskova vd., 2020). Flavonoid bakımından zengin gıdaların günlük tüketiminin nörodejeneratif hastalıklar, diyabet, kardiyovasküler komplikasyonlar, gastrointestinal problemler, pankreatit, akciğer hasarı, osteoporoz ve bazı kanserler gibi çeşitli ciddi hastalıklara karşı koruma sağladığı tespit edilmiştir (Fujiki vd., 2015; Ahmed vd., 2021). Flavonoid tüketiminin kilo, metabolizma, hücre çoğalması ve kronik hastalıkların düzenlenmesi yoluyla sağlıkta önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir (Cory vd., 2018). Flavonoidler ateroskleroz, koroner kalp hastalığı ve kansere karşı mükemmel önleyici etkilere sahiptir (Oteiza vd., 2021; Sillero vd., 2021).

Fonksiyonel gıdaların geriatrik beslenmedeki rolü

Fonksiyonel gıdalar, vücudun biyolojik savunma mekanizmalarının güçlendirilmesine katkıda bulunmakta; bazı hastalıkların iyileşme sürecini desteklemekte, belirli hastalıklara karşı koruyucu etki göstermekte, yaşlanma sürecinin yavaşlatılmasına yardımcı olmakta ve ruh sağlığının korunmasına katkı sağlayabilmektedir. Son zamanlarda, Uluslararası Yaşam Bilimleri Enstitüsü (International Life Science Institute) fonksiyonel gıdaların biyolojik avantajlarını substrat metabolizması, gastrointestinal fizyoloji, gelişim, büyüme ve psikolojik fonksiyonlar ve fiziksel bozukluklar gibi geniş gruplar halinde önermiştir (Pillsbury vd., 2010; Ashaolu, 2020). Yaşlı bireylerin sayısı arttıkça, dünya genelinde ülkeler yaşlı sağlığını korumak ve demografik zorlukların üstesinden gelmek için çeşitli önlemler uygulamaya koymuştur. Besleyici bir diyetin sağlanması, sağlıklı yaşlanmayı desteklemek için çok önemlidir (Qiu vd., 2026). Fonksiyonel gıdalar, geriatrik beslenmede sadece bir "kalori ve besin ögesi tamamlama" aracı değildir; yaşlı bireyin klinik fenotipini değiştirebilen, polifarmasiyi (çoklu ilaç kullanımı) azaltabilen ve sürdürülebilir bağımsız yaşam süresini uzatabilen bütüncül bir yaklaşımdır (Cacador vd., 2021). Son birkaç yıldır, prebiyotikler ve probiyotikler bağırsak ve genel sağlık üzerindeki faydaları nedeniyle dikkat çekmektedir. Yaşlılar için özel olarak tasarlanmış fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi yaşam kalitesini artırabilir (Mandim vd., 2026). Yaşlı nüfus için tasarlanan gıdalar, tip 2 diyabet, katarakt, makula dejenerasyonu,

hipertansiyon ve bunama gibi yaşa bağlı hastalıkların riskini azaltan biyoaktif bileşikler açısından zengin olmalı; aynı zamanda kalori, şeker, yağ ve sodyum açısından düşük olmalıdır (Jędrusek-Golińska vd., 2020).

Geriatrik fonksiyonel gıdaların formülasyonu ve üretim teknolojileri

Kişiselleştirilmiş beslenme, fonksiyonel gıdalarda önemli bir trend olup, bireysel genetik ve fizyolojik farklılıkları dikkate alarak, optimal sağlık için diyet müdahalelerini kişiselleştirmektedir (Lagoumintzis & Patrinos, 2023). Cinsiyet, yaş, yaşam tarzı, soy ve kronik hastalıklar gibi faktörler beslenme etkilerini etkiler ve kişiselleştirilmiş beslenme her bireyin benzersiz metabolik sistemini optimal durumda tutmayı amaçlar (Lagoumintzis & Patrinos, 2023).

Disfaji ve aspirasyon, yaşlı nüfusun %10 ila %33'ünü etkileyen, yetersiz beslenme ve kilo kaybı gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilen önemli bir sorundur (Roberts, 2024). Yaşlı bireyler arasındaki yaşam ortamları, sosyoekonomik geçmişler, sosyal ağlardaki farklılıklar, beslenme tercihlerini ve sağlık risklerini etkilemektedir (Rusu vd., 2020). Geleneksel ticari gıdalar ve geleneksel ev yemekleri, yaşlı yetişkinlerin özel beslenme ihtiyaçlarını genellikle karşılayamamaktadır. Fizyolojik gerileme yetersiz beslenmeyle birleştiğinde, birçok yaşlı yetişkinin yeterli beslenmeyi sağlamasını engeller (Melchior vd., 2023), bu da besin emilimini bozar (Rémond vd., 2015; Shani Levi vd., 2017) ve hastalıklara yatkınlığı artırır. Sonuç olarak, sindirim ve emilim özelliklerinin doğrulanmış değerlendirmelerine dayalı gıda yeniden formülasyonu, hayati önem kazanmıştır (Rémond vd., 2015; Shani Levi vd., 2017). Geriatrik popülasyona yönelik fonksiyonel gıdaların üretimi, klasik gıda işleme tekniklerinin ötesinde, yaşlanan organizmanın mekanik ve fizyolojik kısıtlamalarını minimize edecek spesifik proses mühendisliği yaklaşımlarını zorunlu kılmaktadır.

Fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi gıda endüstrisi için hayati önem taşımaktadır ve bu ürünler piyasaya ulaşmadan önce çeşitli ürünlerin dikkatli bir şekilde tasarlanmasını, optimize edilmesini ve formüle edilmesini ve gelişmiş işleme tekniklerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Fonksiyonel gıda üretiminde yenilikçi yaklaşımlar, enerji ve kaynak tüketimini en aza indirerek, yan ürünleri verimli bir şekilde kullanarak, nihai ürünün kalitesini sağlayarak sürdürülebilirliğe

öncelik vermelidir. Bu, doğal besin maddelerinin korunmasını artırmayı, mikrobiyal kontrolü ve gıdanın raf ömrünü uzatmayı içermektedir (Granato vd., 2020).

Örneğin, ekstrüzyon teknolojisi işleme sırasında besin biyoyararlılığını korumaya yardımcı olduğu için fonksiyonel, yemeye veya pişirmeye hazır gıdaların üretiminde önemli avantajlar sunar. Bu yöntem, özellikle yüksek sıcaklıkların (100 °C–200 °C) ve basınçların (1,72–6,07 MPa) bitki matrislerinde protein denatürasyonuna neden olduğu ve ete benzer lifli bir yapı oluşturduğu bitki bazlı et analoglarının geliştirilmesinde etkilidir (Prabha vd., 2021). Ayrıca, ekstrüzyon, geleneksel gıdaların bitki kaynaklı proteinlerle zenginleştirilmesine olanak tanır. Mısır bazlı atıştırmalıklar, soya ve nohut unu ile zenginleştirilerek, protein içeriği artırılmış ve lif, mineraller (çinko, demir) ve A ve C vitaminleri seviyeleri iyileştirilmiştir (Shah vd., 2022). Ekstrüzyonun en önemli avantajlarından biri, gıda endüstrisi yan ürünlerinin kullanımındaki esnekliğidir; bu da gıdaların besin açısından zengin ve fitokimyasallarla zenginleştirilmesini sağlar. Bu işlem, geleneksel atıştırmalıkları meyve yan ürünlerinden (kabuk ve posa gibi) elde edilen lifler, vitaminler ve antioksidanlarla zenginleştirmek için kullanılmıştır. Beyaz mısır unu ile mango yan ürünlerinin (kabuk ve çekirdek) birleştirilmesiyle ekstrüde edilmiş bir tahıl geliştirilmiştir; optimal formülasyon %58,33 mısır unu, %33,33 mango kabuğu unu ve %8,33 mango çekirdeği unu içeren ve yüksek fenolik içeriğe ve antioksidan potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Medina-Rendon vd., 2021). %10 domates posası tozu, mısır irmiği ve buğday irmiği ile formüle edilmiş atıştırmalıklarda, gallik asit, protokateşik asit, rutin, kuersetin ve karotenoidler dahil olmak üzere polifenoller açısından zenginleştirilerek fonksiyonel bir gıda oluşturulmuştur (Yagci vd., 2022). Ekstrüzyon teknolojisinin yaşlı bireylerin beslenmesine katkısı, özellikle malnütrisyon riskini azaltma ve fonksiyonel bileşenlerle zenginleştirilmiş gıdaların erişimini artırma açısından dikkat çekicidir. Bu yöntem sayesinde hem bitki bazlı et analogları gibi yüksek proteinli alternatifler hem de lif, vitamin ve antioksidanlarla zenginleştirilmiş atıştırmalıklar üretilebilmektedir. Böylece yaşlı bireylerde görülen sarkopeni, bağışıklık zayıflığı ve mikro besin eksiklikleri gibi sorunlara karşı daha dengeli ve fonksiyonel beslenme çözümleri sunulmaktadır. Ayrıca gıda endüstrisi yan ürünlerinin değerlendirilmesi sürdürülebilirlik ile yaşlı bireylerin ihtiyaç duyduğu biyoaktif bileşenlerin korunmasına ve diyet çeşitliliğinin artırılmasına katkı sağlar.

Bir diğer fonksiyonel gıda trendi ise üç boyutlu baskı (3B), yapışkan malzemeleri katman katman biriktirerek nesneler oluşturmak için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir (Wu vd., 2024). 2007'den beri bu teknoloji gıda üretmek için araştırılmaktadır; ancak son yıllarda fonksiyonel gıdaların gelişmesi nedeniyle, kişiselleştirilmiş beslenmeye dayalı olarak belirli tüketicilere yönelik yeni fonksiyonel gıdaların basılması için kullanılmaktadır (Wu vd., 2024). Disfaji yaşayan yaşlı bireylerde, püre haline getirilmiş heterojen gıdaların görsel ve duyuşal çekiciliğini kaybetmesi, “tat bıkkınlığı” ve yetersiz beslenme riskine yol açabilmektedir (Chen vd., 2025). Üç boyutlu gıda baskısı ve fermantasyon gibi yenilikçi teknolojiler, yaşlı bireylerin beslenmesine doğrudan katkı sağlayabilecek güçlü araçlardır. 3B sayesinde kişiselleştirilmiş beslenme çözümleri geliştirilebilir; örneğin, yaşlı bireylerde sık görülen disfaji için uygun tekstürde, aynı zamanda lif, vitamin ve antioksidanlarla zenginleştirilmiş gıdalar üretmek mümkündür (Chen vd., 2025). Yan ürünlerin değerlendirilmesi ise hem sürdürülebilirliği destekler hem de yaşlıların diyetine fitokimyasallar ve fonksiyonel bileşenler ekler. Öte yandan fermantasyon, sindirilebilirliği artırarak bağırsak mikrobiyotasını destekler ve bağışıklık fonksiyonlarını güçlendirir. Böylece bu iki yaklaşım, yaşlı bireylerde malnütrisyon riskini azaltırken, sağlıklı yaşlanmayı destekleyen fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine katkı sunar. Yaşlı bireylerde disfaji ve çiğneme performansındaki düşüş, gıdaların akış ve deformasyon davranışlarının (reoloji) hassas bir şekilde kontrol edilmesini gerektirir. Uluslararası Disfaji Diyeti Standartlaştırma Girişimi (IDDSI) kriterlerine uygun olarak, geriatrik gıdaların viskozite ve viskoelastik özellikleri (kayma gerilimi, akma noktası, elastik modül ve viskoz modül) modifiye edilmektedir. Hidrokoloid matris tasarımı ile ksantan zımkı, guar zımkı, karboksimetil selüloz (CMC) ve modifiye nişastalar kullanılarak gıdaların kayma hızıyla incelen (shear-thinning / psödoplastik) davranış göstermesi sağlanır (Liu vd., 2025). Bu sayede gıda ağız içinde kolayca deforme olup yutulabilir bir bolus oluştururken, soluk borusuna kaçma (aspirasyon) riskini sıfıra indirir. Gıda mühendisliği, protein ve mikronütrient yönünden zenginleştirilmiş püre matrislerini 3B yazıcı teknolojisiyle yeniden şekillendirerek (örneğin püre halindeki eti orijinal pirzola formunda şekil vererek) yaşlı bireyde optik reseptörleri stimüle eder ve organoleptik kaliteyi arttırmaya yardımcı olur (Liu vd., 2025).

Fonksiyonel bileşenlerini koruyan yeni gıda koruma teknolojilerinin kullanımı, büyümesi beklenen bir trenddir. Bu teknolojiler arasında, termal olmayan ve çevre dostu yöntemler öne çıkmaktadır. Örneğin, soğuk plazma, enzimleri etkisiz hale getirmek ve mikroorganizmaları yok etmek için iyonize gazlar kullanır (Obileke vd., 2022). UVC ışığı (200–280 nm), gıda kalitesini korurken birçok patojeni etkili bir şekilde inhibe eder (Singh vd., 2021). Yüzey dekontaminasyonu ve enzim inaktivasyonu amacıyla kullanılan soğuk plazma (Saremnezhad vd., 2021) ve ultrasonik kavitasyon (Dağbaşı, 2024) teknolojileri, ısı işlem kaynaklı hasarı azaltarak geriatrik gıdaların raf ömrü stabilitesini ve biyoerişilebilirliğini artırabilmektedir. Bu tür termal olmayan ve çevre dostu koruma yöntemleri, yaşlı bireylerin beslenmesinde kritik bir avantaj sağlar. Çünkü soğuk plazma ve UVC ışığı gibi teknolojiler, gıdaların mikrobiyal güvenliğini artırırken vitaminler, antioksidanlar ve diğer fonksiyonel bileşenlerin korunmasına olanak tanır. Bu sayede bağışıklık sistemi zayıflamış veya sindirim kapasitesi azalmış yaşlı bireyler için hem güvenli hem de besleyici gıdaların tüketimi mümkün olur; böylece malnütrisyon riskinin azaltılmasına ve sağlıklı yaşlanmanın desteklenmesine katkı sağlanır.

Geleneksel yüksek sıcaklık uygulamaları (UHT, pastörizasyon) fonksiyonel gıdaların biyoaktif gücünü (termolabil vitaminler, antioksidan polifenoller, peptid yapılar) dikkate değer ölçüde düşürür (Xing vd., 2020). Geriatrik beslenme mühendisliği, bu kaybı önlemek için termal olmayan (non-thermal) koruma teknolojilerini prosese entegre eder. Darbeli elektrik alan (PEF), sıvı gıdalardaki mikroorganizmaları ortadan kaldırmak için kısa elektrik darbeleri kullanır ve lezzet ile besinleri korur (Obileke vd., 2022). Yüksek basınçlı işleme (HPP), bozulmaya neden olan organizmaları ve enzimleri ısı kullanmadan etkisiz hale getirmek için yüksek basınç (100-600 MPa) kullanır; bu da ısıya duyarlı bileşikler (vitaminler ve antioksidanlar gibi) koruyarak fonksiyonel içecekler, meyve suları ve süt ürünleri için ideal hale getirir (Nabi vd., 2021). Bu teknolojilerin yaşlı bireylerin beslenmesine katkısı oldukça önemlidir. Çünkü hem PEF hem de HPP, gıdaların mikrobiyal güvenliğini sağlarken vitamin, antioksidan ve biyoaktif bileşenlerin korunmasına olanak tanır. Bu da özellikle bağışıklık sistemi zayıflamış, sindirim kapasitesi azalmış ve besin öğelerine duyarlılığı artmış yaşlı bireyler için daha güvenli, besleyici ve fonksiyonel gıdaların tüketimini mümkün kılar. Böylece yaşlı bireylerde malnütrisyon riskini azaltarak sağlıklı yaşlanmaya destek olur.

Mikrokapsülasyon teknikleri ile sprey kurutma (spray drying), dondurarak kurutma (liyofilizasyon), koaservasyon ve elektro-eğirme (electrospinning) teknolojileri kullanılarak biyoaktif bileşenler koruyucu bir polimer matrisi (peynir altı suyu izolati, maltodekstrin, aljinat veya lipozomal yapılar) içine hapsedilir (Guo vd., 2025). Gastrointestinal kinetik ve hedeflenmiş salınım ile tasarlanan kapsüllerin mide asidine (pH 1,5-2,0) ve pepsin hidrolizine dirençli, ancak ince bağırsak şartlarında (pH 6,5-7,5 ve safra tuzları varlığında) tetiklenerek kontrollü salınım gösterecek şekilde tasarlanması geriatrik emilim kısıtlılıklarını aşmanın anahtarıdır. Bu proaktif salınım kinetiği, fonksiyonel bileşenin tam olarak emileceği lümene (örneğin probiyotik ve postbiyotiklerin kolona) maksimum biyoyararlılıkla ulaşmasını sağlamaktadır (Guo vd., 2025).

Özetle, fonksiyonel gıdalardaki teknolojik gelişmeler, yenilikçi işleme tekniklerinden ve sürdürülebilir uygulamalardan yararlanarak gıda endüstrisinde yeni ufuklar açmaktadır. Yeni teknolojik gelişmeler, fonksiyonel bileşiklerin besin profilini ve biyoyararlanımını iyileştirmeyi hedeflemeli ve yan ürünlerin verimli kullanımı yoluyla gıda sürdürülebilirliği için çözümler sunmalıdır. Ortaya çıkan koruma yöntemleri, fonksiyonel gıdaların güvenliğini ve kalitesini daha da artırırken, temel besin maddelerini de korumaktadır. Kişiselleştirilmiş beslenme ve sağlığı destekleyici ürünlere olan talep artmaya devam ettikçe, bu yenilikler fonksiyonel gıda üretiminin geleceğini şekillendirmede hem tüketici sağlığını hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamada çok önemli bir rol oynayacaktır.

Gıda mühendisliğinin geriatrideki stratejik rolü: Reaktiften proaktife

Yaşlı bireylerde yetersiz beslenmeyi tedavi etmeyi ve hatta önlemeyi amaçlayan stratejiler, yoğun araştırma faaliyetlerinin konusu olmaktadır (Rémond vd., 2015). Yaşlı bireylerde yetersiz beslenmenin çok faktörlü yapısı; i) sosyal izolasyonu önlemeyi ve ortadan kaldırmayı amaçlayan sosyal müdahaleler ile aile üyeleri ve arkadaşlar tarafından yaşlıların yaşam standartlarının izlenmesi, ii) besin takviyelerinin verilmesi, iii) bakım ortamlarının kalitesinin iyileştirilmesi ve iv) en kötü durumlarda klinik müdahaleler dahil olmak üzere bütünsel beslenme stratejileri ve önerilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte, yaşlı bireylerde yetersiz beslenmeyi önleme ve tedavi etmeye yönelik çok disiplinli stratejinin özü, şüphesiz ki ana hedefi herkese yeterli gıda

teminini sağlamak olan ilk gıda politikasının savunduğu beslenme müdahalesidir (Chernoff, 2001; Morley & Flaherty, 2002). Başarılı olabilmesi için, bu müdahale, yaşlıların ihtiyaç ve gereksinimlerine uygun, yaşlılar için daha ayrıntılı kanıta dayalı beslenme önerileri ve yeni gıda ürünleri gerektirmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Geriatrik beslenme mühendisliği, yaşlı nüfusun hızla artmasıyla birlikte ortaya çıkan malnütrisyon, kırılganlık ve çoklu hastalıkların çözümünde kritik bir disiplin olarak öne çıkmaktadır. Yaşlanmaya bağlı fizyolojik, psikolojik ve sosyal değişiklikler beslenme yetersizliklerini artırmakta, bu da hem bireysel sağlık hem de sağlık sistemleri üzerinde ciddi yük oluşturmaktadır. Özellikle sarkopeni, disfaji ve sindirim bozuklukları yaşlı bireylerin beslenme durumunu olumsuz etkileyen temel faktörlerdir.

Fonksiyonel gıdalar, yaşlı bireylerin beslenme ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir fırsat sunmaktadır. Proteinler, prebiyotikler, probiyotikler, omega-3 yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve polifenoller gibi biyoaktif bileşenler, bağışıklık sistemini güçlendirme, enflamasyonu azaltma, bağırsak sağlığını destekleme ve kronik hastalık riskini düşürme gibi çok yönlü yararlar sağlamaktadır. Bu bileşenlerin geriatrik beslenme formülasyonlarına entegre edilmesi, yaşlı bireylerin yaşam kalitesini artırmada stratejik bir rol oynamaktadır.

Gıda mühendisliğinin geriatrideki stratejik rolü, yaşlı bireylerin beslenmesine destek olacak yaşlı dostu gıdalar için ürün formülasyonu geliştirerek geriatrik sağlık politikalarını ve sürdürülebilir gıda arzını sağlamaktır. Bu yaklaşım, yalnızca bireysel sağlık sonuçlarını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda toplum sağlığı ve sağlık ekonomisi açısından da kritik bir katkı sunar.

Bu çerçevede öneriler, klinik uygulamalarda malnütrisyonun erken teşhisi için MNA ve GNRI gibi tarama testlerinin rutinleştirilmesi, fonksiyonel gıda geliştirmede probiyotik, prebiyotik ve omega-3 gibi bileşenlerin yaşlı dostu formülasyonlara entegre edilmesi, teknolojik yeniliklerde ekstrüzyon ve 3B gıda baskısı gibi yöntemlerin kullanılması ve politika düzeyinde fonksiyonel gıdaların üretim ve erişiminin desteklenmesi yönündedir.

Dolayısıyla bu öneriler, geriatrik beslenme mühendisliğinin hem akademik hem de endüstriyel düzeyde gelişimini destekleyerek yaşlı bireylerin sağlıklı ve bağımsız yaşam sürelerini uzatmaya katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Agarwal, E., Miller, M., Yaxley, A., & Isenring, E. (2013). Malnutrition in the elderly: a narrative review. *Maturitas*, 76(4), 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.07.013>
- Ahmed, M. H., Hassan, A., & Molnár, J. (2021). The role of micronutrients to support immunity for COVID-19 prevention. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 31(4), 361-374. <https://doi.org/10.1007/s43450-021-00179-w>
- Ahmed, M. H., Vasas, D., Hassan, A., & Molnár, J. (2022). The impact of functional food in prevention of malnutrition. *PharmaNutrition*, 19, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2022.100288>
- Aksu, H. (2022). Beslenme tarama araçları. *Izmir Democracy University Health Sciences Journal*, 5(1), 87-105. <https://doi.org/10.52538/iduhs.1025013>
- Almeida, C. M., Beltrame, J., Marto, J., & Pinheiro, L. (2026). Making Mealtime Easier: Nutrition and Texture in Foods for the Elderly with Swallowing Difficulties in Formal and Informal Care. *Foods*, 15(4), 708. <https://doi.org/10.3390/foods15040708>
- Anderton, B. H. (2002). Ageing of the brain. *Mechanisms of ageing and development*, 123(7), 811-817. [https://doi.org/10.1016/s0047-6374\(01\)00426-2](https://doi.org/10.1016/s0047-6374(01)00426-2)
- Ashaolu, T. J. (2020). Immune boosting functional foods and their mechanisms: A critical evaluation of probiotics and prebiotics. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130, 110625. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110625>
- Avelino-Silva, T. J., & Jaluul, O. (2017). Malnutrition in hospitalized older patients: management strategies to improve patient care and clinical outcomes. *International Journal of Gerontology*, 11(2), 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2016.11.002>
- Baker, M. T., Lu, P., Parrella, J. A., & Leggette, H. R. (2022). Consumer acceptance toward functional foods: A scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>
- Banerjee, A., & Duflo, E. (2011). More than 1 billion people are hungry in the world. *Foreign Policy*, (186), 66-72. <https://www.jstor.org/stable/41233425>
- Baptista, D. P., do Carmo, A. S., & Gigante, M. L. (2024). Modeling elderly gastrointestinal digestion for the evaluation of the release of bioactive peptides. In *Protein Digestion-Derived Peptides* (pp. 31-58). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19141-1.00002-9>
- Browne, S., Kelly, L., Geraghty, A. A., Reynolds, C. M., McBean, L., McCallum, K., Clyne, B., Bury, G., Perrotta, C., Kennelly, S., Bradley, C., McCullagh, L., Finnigan, K., Clarke, S., Bardon, L.A., Murrin, C., Gibney, E. R., Castro, P.D., & Corish, C. A. (2021). Healthcare professionals' perceptions of malnutrition management and oral nutritional supplement prescribing in the community: a qualitative study. *Clinical nutrition ESPEN*, 44, 415-423. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.04.024>
- Bunn, D., Jimoh, F., Wilsher, S. H., & Hooper, L. (2015). Increasing fluid intake and reducing dehydration risk in older people living in long-term care: a systematic review. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(2), 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2014.10.016>
- Cacador, C., Teixeira-Lemos, E., Martins, S. O., & Ramos, F. (2021). The role of nutritional status on polypharmacy, cognition, and functional capacity of institutionalized elderly: a systematic review. *Nutrients*, 13(10), 3477. <https://doi.org/10.3390/nu13103477>
- Calder, P. C. (2015). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 469-484. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.08.010>
- Chen, Q., Wu, Y., Lin, H., Chen, S., Zhao, Y., Xiang, H., Long, X., & Wang, Y., (2025). 3D-Printed flaxseed gum-myofibrillar protein gel for elderly dysphagia: Multi-scale structural

- modulation via molecular interaction and lycopene release in bionic dynamic digestion. *Food Hydrocolloids*, 111927. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111927>
- Chernoff, R. (2001). Nutrition and health promotion in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(suppl_2), 47-53. https://doi.org/10.1093/gerona/56.suppl_2.47
- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752-762. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)62167-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(12)62167-9)
- Coin, A., Sergi, G., Benincà, P., Lupoli, L., Cinti, G., Ferrara, L., Benedetti, G., Tomasi, G., Pisent, C., & Enzi, G., (2000). Bone mineral density and body composition in underweight and normal elderly subjects. *Osteoporosis International*, 11(12), 1043-1050.
- Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. *Frontiers in nutrition*, 5, 370438. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
- Cosentino, G., Tassorelli, C., Prunetti, P., Bertino, G., De Icco, R., Todisco, M., Di Marco, S., Brighina, F., Schindler, A., Rondanelli, M., Fresia, M., Mainardi, L., Restivo, DA., Priori, A., Sandrini, G., & Alfonsi, E., (2020). Anodal transcranial direct current stimulation and intermittent theta-burst stimulation improve deglutition and swallowing reproducibility in elderly patients with dysphagia. *Neurogastroenterology & Motility*, 32(5), e13791. <https://doi.org/10.1111/nmo.13791>
- Da Costa, D. S. D. P., & Cebola, M. (2023). Evaluation Of Malnutrition And The Risk Of Sarcopenia In An Elderly Population: Comparison Of Different Nutritional Assessment Tools. *Clinical Nutrition ESPEN*, 54, 515-516. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.09.171>
- Dağbağlı, S. (2024). Ultrases İşleminin Enzim Aktivasyonu Üzerine Etkileri. *Akademik Gıda*, 22(2), 158-166. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1543682>
- Del Rio, A. R., Keppler, J. K., Boom, R. M., & Janssen, A. E. (2021). Protein acidification and hydrolysis by pepsin ensure efficient trypsin-catalyzed hydrolysis. *Food & function*, 12(10), 4570-4581. <https://doi.org/10.1039/d1fo00413a>
- Deng, F., Li, Y., & Zhao, J. (2019). The gut microbiome of healthy long-living people. *Aging (Albany NY)*, 11(2), 289. <https://doi.org/10.18632/aging.101771>
- Dent, E., Wright, O. R., Woo, J., & Hoogendijk, E. O. (2023). Malnutrition in older adults. *The Lancet*, 401(10380), 951-966. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02612-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02612-5)
- Diaz, L. D., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *Journal of Functional Foods*, 68, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103896>
- Dikme, T. G. (2023). Yaşlılarda malnütrasyon, nedenleri ve etkileri. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 10(2), 324-330. <https://doi.org/10.52880/sagakaderg.1198327>
- Drossman, D. A., & Hasler, W. L. (2016). Rome IV—functional GI disorders: disorders of gut-brain interaction. *Gastroenterology*, 150(6), 1257-1261. 2016 <http://dx.doi.org/10.1053/j.gastro.2016.03.035>
- Drozdzowski, L., & Thomson, A. B. (2006). Aging and the intestine. *World journal of gastroenterology: WJG*, 12(47), 7578. <https://doi.org/10.3748/wjg.v12.i47.7578>
- Falandry, C., Bonnefoy, M., Frey, G., & Gilson, E. (2014). Biology of cancer and aging: a complex association with cellular senescence. *Journal of Clinical Oncology*, 32(24), 2604-2610. <https://doi.org/10.1200/JCO.2014.55.1432>
- Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P., Giuliani, C., & Santoro, A. (2018). Inflammaging: a new immune-metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 576-590. <https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4>
- Fujiki, H., Sueoka, E., Watanabe, T., & Suganuma, M. (2015). Primary cancer prevention by green tea, and tertiary cancer prevention by the combination of green tea catechins and

- anticancer compounds. *Journal of cancer prevention*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.15430/JCP.2015.20.1.1>
- Gariballa, S. E., & Sinclair, A. J. (1998). Nutrition, ageing and ill health. *British Journal of Nutrition*, 80(1), 7-23. <https://doi.org/10.1017/S000711459800172X>
- Genton, L., Karsegard, V. L., Chevalley, T., Kossovsky, M. P., Darmon, P., & Pichard, C. (2011). Body composition changes over 9 years in healthy elderly subjects and impact of physical activity. *Clinical nutrition*, 30(4), 436-442. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2011.01.009>
- Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology*, 11(1), 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Guo, J., Zhang, M., Tang, T., Adhikari, B., & Li, C. (2025). Novel technologies to produce nutritious texture-modified foods for elderly: Advances, challenges and applications. *Food Bioscience*, 67, 106362. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106362>
- Gyriki, D., Nikolaidis, C. G., Bezirtzoglou, E., Voidarou, C., Stavropoulou, E., & Tsigalou, C. (2025). The gut microbiota and aging: interactions, implications, and interventions. *Frontiers in aging*, 6, 1452917. <https://doi.org/10.3389/fragi.2025.1452917>
- Hasler, C. M. (2002). Functional foods: benefits, concerns and challenges—a position paper from the American Council on Science and Health. *The Journal of nutrition*, 132(12), 3772-3781. <https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3772>
- Horizon Grand View Research, (2024). Global functional foods market size & outlook, 2023–2030. *Horizon Grand View Research*, San Francisco, United States.
- Houston, D. K., Nicklas, B. J., Ding, J., Harris, T. B., Tylavsky, F. A., Newman, A. B., Lee, J. S., Sahyoun, N. R., Visser, M., Kritchevsky, S. B., Health ABC Study. (2008). Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *The American journal of clinical nutrition*, 87(1), 150-155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.1.150>
- Jędrusek-Golińska, A., Górecka, D., Buchowski, M., Wieczorowska-Tobis, K., Gramza-Michałowska, A., & Szymandera-Buszka, K. (2020). Recent progress in the use of functional foods for older adults: A narrative review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 835-856. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12530>
- Khalatbari-Soltani, S., & Marques-Vidal, P. (2015). The economic cost of hospital malnutrition in Europe; a narrative review. *Clinical nutrition ESPEN*, 10(3), e89-e94. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2015.04.003>
- Khan, A., Carmona, R., & Traube, M. (2014). Dysphagia in the elderly. *Clinics in geriatric medicine*, 30(1), 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.10.009>
- Kirkman, M. S., Briscoe, V. J., Clark, N., Florez, H., Haas, L. B., Halter, J. B., Huang, E. S., Korytkowski, M. T., Munshi, M. N., Odegard, P. S., Pratley, R. E., & Swift, C. S., (2012). Diabetes in older adults: a consensus report. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(12), 2342–2356. <https://doi.org/10.1111/jgs.12035>
- Koeder, C., & Perez-Cueto, F. J. (2024). Vegan nutrition: a preliminary guide for health professionals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(3), 670-707. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2107997>
- Kumari, A., KG, R., Sudhakaran, V. A., Warriar, A. S., & Singh, N. K. (2024). Unveiling the health benefits of prebiotics: A comprehensive review. *Indian Journal of Microbiology*, 64(2), <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01235-4>
- Lagoumintzis, G., & Patrinos, G. P. (2023). Triangulating nutrigenomics, metabolomics and microbiomics toward personalized nutrition and healthy living. *Human genomics*, 17(1), 109. <https://doi.org/10.1186/s40246-023-00561-w>

- Lengel , L., Bruy re, O., Beaudart, C., Reginster, J. Y., & Locquet, M. (2021). Impact of malnutrition status on muscle parameter changes over a 5-year follow-up of community-dwelling older adults from the SarcoPhAge cohort. *Nutrients*, 13(2), 407. <https://doi.org/10.3390/nu13020407>
- Leveille, S. G. (2004). Musculoskeletal aging. *Current opinion in rheumatology*, 16(2), 114-118. <https://doi.org/10.1097/00002281-200403000-00007>
- Li, R., Kato, H., Fumimoto, C., Nakamura, Y., Yoshimura, K., Minagawa, E., Omatsu, K., Ogata, C., Taguchi, Y., & Umeda, M. (2023). Essential amino acid starvation-induced oxidative stress causes DNA damage and apoptosis in murine osteoblast-like cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(20), 15314. <https://doi.org/10.3390/ijms242015314>
- Liskova, A., Koklesova, L., Samec, M., Smejkal, K., Samuel, S. M., Varghese, E., Abotaleb, M., Biringer, K., Kudela, E., Danko, J., Shakibaei, M., Kwon, T. K., B sselberg, D., & Kubatka, P. (2020). Flavonoids in cancer metastasis. *Cancers*, 12(6), 1498. <https://doi.org/10.3390/cancers12061498>
- Liu, H. H., & Li, J. J. (2015). Aging and dyslipidemia: a review of potential mechanisms. *Ageing research reviews*, 19, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.12.001>
- Liu, W., Hu, H., McClements, D. J., Jin, Z., & Chen, L. (2025). Fabrication and characterization of edible inks for 3D printing of dysphagia foods based on corn starch stabilized by calcium ions and hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 166, 111278. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111278>
- Lykkesfeldt, J. (2020). On the effect of vitamin C intake on human health: How to (mis) interpret the clinical evidence. *Redox biology*, 34, 101532. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101532>
- Mandim, F., Albuquerque, B., & Barros, L. (2026). Future trends on functional foods. In *Bioactive Components for Functional Foods* (pp. 413-430). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29983-4.00013-2>
- Marnpae, M., Balmori, V., Kamonsuwan, K., Nungarlee, U., Charoensiddhi, S., Thilavech, T., Suantawee, T., Sivapornnukul, P., Chanchaem, P., Payungporn, S., Dahlan, W., Hamid, N., Nhujak, T., & Adisakwattana, S. (2024). Modulation of the gut microbiota and short-chain fatty acid production by gac fruit juice and its fermentation in in vitro colonic fermentation. *Food & Function*, 15(7), 3640-3652. <https://doi.org/10.1039/D3FO04318E>
- Martirosyan, D., & Miller, E. (2018). Bioactive compounds: The key to functional foods. *Bioactive Compounds in Health and Disease-Online ISSN: 2574-0334*, 1(3), 36-39. <https://doi.org/10.31989/bchd.v1i3.539>
- Medina-Rendon, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-Gonz lez, R. I., Arriola-Guevara, E., & Garc a-Fajardo, J. A. (2021). Production of extrudate food with mango by-products (*Mangifera indica*): Analysis of physical, chemical, and sensorial properties. *Processes*, 9(9), 1660. <https://doi.org/10.3390/pr9091660>
- Melchior, S., Moretton, M., Alongi, M., Calligaris, S., Nicoli, M. C., & Anese, M. (2023). Comparison of protein in vitro digestibility under adult and elderly conditions: The case study of wheat, pea, rice, and whey proteins. *Food Research International*, 163, 112147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112147>
- Molina-Molina, E., Garruti, G., Shanmugam, H., Di Palo, D. M., Grattagliano, I., Mastronuzzi, T., & Portincasa, P. (2020). Aging and nutrition. Paving the way to better health. *Romanian Journal of Internal Medicine*, 1-14. <https://doi.org/10.2478/rjim-2020-0005>
- Morley, J. E., & Flaherty, J. H. (2002). Editorial It's Never Too Late: Health Promotion and Illness Prevention in Older Persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(6), M338-M342. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.6.M338>

- Mu, H., Yao, Y., Gong, Y., & Yang, T. (2025). The role of fermented foods in healthy longevity: A review of potential anti-aging mechanisms. *Current Research in Food Science*, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101300>
- Muhle, P., Wirth, R., Glahn, J., & Dziewas, R. (2015). Age-related changes in swallowing. Physiology and pathophysiology. *Der Nervenarzt*, 86(4), 440-451. <https://doi.org/10.1007/s00115-014-4183-7>
- Nabi, B.G., Mukhtar, K., Arshad, R.N., Radicetti, E., Tedeschi, P., Shahbaz, M.U., Walayat, N., Nawaz, A., Inam-Ur-Raheem, M. & Aadil, R.M. (2021). High-pressure processing for sustainable food supply. *Sustainability*, 13(24), 13908. <https://doi.org/10.3390/su132413908>
- North, B. J., & Sinclair, D. A. (2012). The intersection between aging and cardiovascular disease. *Circulation research*, 110(8), 1097-1108. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.111.24687>
- O'Connell, A., Calvo-Flores Guzmán, B., Zhai, Y., Keighron, C. N., Boix, J., Peppercorn, K., Tate, W. P., Waldvogel, H. J., Faull, R. L., Montgomery, J. M., Quinlan, L., & Kwakowsky, A. (2026). The β -amyloid-induced increased tonic conductance, impaired long-term potentiation and cognitive deficits characteristic of Alzheimer's disease are reversed by an $\alpha 5$ inverse agonist of a GABA type A receptor. *Neuropharmacology*, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2026.110892>
- O'Toole, P. W., & Jeffery, I. B. (2018). Microbiome–health interactions in older people. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 75(1), 119-128. <https://doi.org/10.1007/s00018-017-2673-z>
- Obileke, K., Onyeaka, H., Miri, T., Nwabor, O. F., Hart, A., Al-Sharify, Z. T., Al-Najjar, S., & Anumudu, C. (2022). Recent advances in radio frequency, pulsed light, and cold plasma technologies for food safety. *Journal of Food Process Engineering*, 45(10), e14138. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14138>
- Oteiza, P. I., Fraga, C. G., & Galleano, M. (2021). Linking biomarkers of oxidative stress and disease with flavonoid consumption: from experimental models to humans. *Redox Biology*, 42, 101914. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.101914>
- Peng, C., Wang, X., Chen, J., Jiao, R., Wang, L., Li, Y. M., Zuo, Y., Liu, Y., Lei, L., Ma, K. Y., Huang, Y., & Chen, Z. Y. (2014). Biology of ageing and role of dietary antioxidants. *BioMed research international*, 2014, 831841. <https://doi.org/10.1155/2014/831841>
- Pillsbury, L., Miller, E. A., Boon, C., & Pray, L. (Eds.). (2010). *Providing healthy and safe foods as we age: Workshop summary*. National Academies Press.
- Prabha, K., Ghosh, P., Joseph, R. M., Krishnan, R., Rana, S. S., Pradhan, R. C. (2021). Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology. *Future Foods*, 3, 100019. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100019>
- Qiu, Z., Shi, Y., Wu, Y., Zheng, Y., Shi, W., Yin, M., Zhang, L., & Wang, X. (2026). Altered Digestive and Absorptive Characteristics of Food Proteins in Older Adults: Mechanisms, Model Applications, and Innovative Strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 25(1), e70364. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70364>
- Raheem, D., Carrascosa, C., Ramos, F., Saraiva, A., & Raposo, A. (2021). Texture-modified food for dysphagic patients: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5125. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105125>
- Rémond, D., Shahar, D. R., Gille, D., Pinto, P., Kachal, J., Peyron, M. A., Dos Santos, C. N., Walther, B., Bordoni, A., Dupont, D., Tomás-Cobos, L., & Vergères, G. (2015). Understanding the gastrointestinal tract of the elderly to develop dietary solutions that prevent malnutrition. *Oncotarget*, 6(16), 13858–13898. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.4030>

- Roberts, H., Lambert, K., & Walton, K. (2024). The prevalence of dysphagia in individuals living in residential aged care facilities: a systematic review and meta-analysis. In *Healthcare* (Vol. 12, No. 6, p. 649). MDPI. <https://doi.org/10.3390/healthcare12060649>
- Rusu, A., Randriambelonoro, M., Perrin, C., Valk, C., Álvarez, B., & Schwarze, A. K. (2020). Aspects influencing food intake and approaches towards personalising nutrition in the elderly. *Journal of Population Ageing*, 13(2), 239-256. <https://doi.org/10.1007/s12062-019-09259-1>
- Saremnezhad, S., Soltani, M., Faraji, A., & Hayaloglu, A. A. (2021). Chemical changes of food constituents during cold plasma processing: A review. *Food Research International*, 147, 110552. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110552>
- Shah, F. U., Sharif, M. K., Ahmad, Z., Amjad, A., Javed, M. S., Suleman, R., Sattar, D. E., Amir, M., & Anwar, M. J. (2022). Nutritional characterization of the extrusion-processed micronutrient-fortified corn snacks enriched with protein and dietary fiber. *Frontiers in nutrition*, 9, 1062616. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1062616>
- Shani-Levi, C., Alvito, P., Andrés, A., Assunção, R., Barberá, R., Blanquet-Diot, S., Bourlieu, C., Brodkorb, A., Cilla, A., Deglaire, A., Denis, S., Dupont, D., Heredia, A., Karakaya, S., Giosafatto, C.V., Mariniello, L., Martins, C., Ménard, O., El, S.N., Vegarud, G.E., Ulleberg, E.K., & Lesmes, U. (2017). Extending in vitro digestion models to specific human populations: Perspectives, practical tools and bio-relevant information. *Trends in Food Science and Technology*, 60, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.017>
- Sheffield, S., Fiorotto, M. L., & Davis, T. A. (2024). Nutritional importance of animal-sourced foods in a healthy diet. *Frontiers in nutrition*, 11, 1424912. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1424912>
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H., & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, 128084. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084>
- Sillero, L., Prado, R., Welton, T., & Labidi, J. (2021). Energy and environmental analysis of flavonoids extraction from bark using alternative solvents. *Journal of Cleaner Production*, 308, 127286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127286>
- Teodoro, A. J. (2019). Bioactive compounds of food: their role in the prevention and treatment of diseases. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019, 3765986. <https://doi.org/10.1155/2019/3765986>
- TÜİK. (2025). *İstatistiklerle Yaşlılar, 2025*. Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni. https://raporbulteni.com/139-tuik-istatistiklerle-yaslilar-2025/?gad_source=1&gad_campaignid=22075791812&gbraid=0AAAAA-dddQp76B1niIldxWUTyZDBKYdMs&gclid=Cj0KCQjwILDQBhDjARIsAPIIefEN0ZN6-IG_Un9GNwaXrYT1kCFe4P0PeaahEXQajFJT0EKtT-Iso0YaAmUHEALw_wcB
- United Nations. (2020). Population division: World population ageing 2020 highlights. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Sep/un_pop_2020_pf_ageing_10_key_messages.pdf
- Ünsal, P., & Halil, M. (2018). Yaşlının Nutrisyonel Durumunun Değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri Geriatrics-Special Topics*, 4(3), 41-45.
- Valladares, A. F., McCauley, S. M., Khan, M., D'Andrea, C., Kilgore, K., & Mitchell, K. (2022). Reprint of: development and evaluation of a global malnutrition composite score. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 122(10), S42-S49. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2022.07.012>
- Volkert, D., Beck, A. M., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., Hooper, L., Kiesswetter, E., Maggio, M., Raynaud-Simon, A., Sieber, C., Sobotka, L., van Asselt, D., Wirth, R., & Bischoff, S.

- C. (2022). ESPEN practical guideline: Clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clinical Nutrition*, 41(4), 958-989. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.01.024>
- Wu, R., Jiang, J., An, F., Ma, X., & Wu, J. (2024). Research progress of 3D printing technology in functional food, powering the future of food. *Trends in Food Science & Technology*, 149, 104545. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104545>
- Xing, Q., Ma, Y., Fu, X., Cao, Q., Zhang, Y., & You, C. (2020). Effects of heat treatment, homogenization pressure, and overprocessing on the content of furfural compounds in liquid milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5276-5282. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10578>
- Yagci, S., Caliskan, R., Gunes, Z. S., Capanoglu, E., & Tomas, M. (2022). Impact of tomato pomace powder added to extruded snacks on the in vitro gastrointestinal behaviour and stability of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 368, 130847. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130847>
- Yoshida, Y., Taniyama, M., Fujihara, D., Yamada, A., Fukui, M., Doi, N., Takahashi, R., Okayama, S., & Iwama, H., (2025). The relationship between sarcopenia and respiratory muscle weakness undergoing phase 2 cardiac rehabilitation in elder patients. *European Heart Journal*, 46(Supplement_1), ehaf784-3930. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf784.3930>

ÖZEL DİYETLER

Bilge Baştürk Berk*, Şebnem Tavman**

GİRİŞ

Günümüzde beslenme yaklaşımları, yalnızca temel enerji ve besin ögesi gereksinimlerinin karşılanması ötesine geçerek, bireyin fizyolojik, metabolik ve genetik özelliklerine göre şekillenen daha özelleşmiş bir yapıya dönüşmüştür. Bu bağlamda özel diyetler, belirli hastalıkların yönetimi, besin intoleransları, alerjiler, etik ve çevresel tercihler ya da yaşam tarzı farklılıkları doğrultusunda geliştirilen beslenme modelleri olarak tanımlanmaktadır (Leung vd., 2018).

Özel diyetlerin ortaya çıkışında; kronik hastalıkların artışı, gıda bileşenlerine karşı gelişen duyarlılıklar, sürdürülebilirlik kaygıları ve bireyselleştirilmiş beslenmeye olan ilginin artması önemli rol oynamaktadır (Ordovas vd., 2018; Hargreaves vd., 2023). Bu diyetler, belirli besin öğelerinin kısıtlanması, tamamen diyetten çıkarılması ya da belirli oranlarda yeniden düzenlenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak bu tür müdahaleler, doğru planlanmadığı takdirde besin ögesi yetersizlikleri ve sağlık riskleri oluşturabilmektedir (Rekowska & Czerwionka-Szaflarska, 2018).

Gıda mühendisliği perspektifinden bakıldığında, özel diyetler, belirli kısıtlar altında optimal beslenme modelinin oluşturulmasını gerektiren çok değişkenli bir sistem olarak değerlendirilebilir. Burada amaç bireyin gereksinimlerini karşılayacak şekilde enerji ve besin öğelerinin dengelenmesi, aynı zamanda sağlık hedeflerinin desteklenmesidir (Ordovas vd., 2018). Bu nedenle özel diyetlerin planlanması sürecinde bilimsel veriler, bireysel gereksinimler ve uygulanabilirlik birlikte ele alınmalıdır.

* Arş. Gör., Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, bilge.basturk.berk@ege.edu.tr, ORCID: orcid.org/ 0000-0002-7405-5288

** Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, sebnem.tavman@ege.edu.tr, ORCID: orcid.org/ 0000-0002-3069-1709

Özel diyetlerin temelleri ve sınıflandırılması

Özel diyetler, bireyin fizyolojik gereksinimleri, patolojik durumları, genetik yatkınlıkları veya etik tercihleri doğrultusunda standart beslenme modellerinden farklılaşan, hassas şekilde yapılandırılmış beslenme modelleridir (Ordovas vd., 2018; Hargreaves vd., 2023). Gıda mühendisliği perspektifinden bakıldığında özel diyet yönetimi, bir gıda matriksinin sadece içeriğini değil, sindirim kinetiğini, biyoyararlanımını ve metabolik çıktısını hedef kitleye göre yeniden tasarlama sürecidir (Awuchi vd., 2020; Iizuka & Yabe, 2023). Bu süreçte temel parametre, gıdanın yapısal bütünlüğünü korurken, belirli bileşenlerin izolasyonu (eliminasyon) veya belirli metabolik yolların (ketozis, glisemik stabilite) uyarılması arasındaki dengenin kurulmasıdır (Leone vd., 2019; Gandhi vd., 2024).

Tablo 1. Özel Diyetlerde Karşılaşılan Teknolojik Zorluklar ve Gıda Mühendisliği Çözümleri

Diyet türü	Formülasyon/yapısal zorluk	Uygulanan mühendislik stratejisi	Kaynakça
Glütensiz diyet	Viskoelastik ağ eksikliği nedeniyle düşük hacim, kırılğan yapı ve hızlı bayatlama. Aşırı yağ ve şeker kullanımıyla artan enerji yoğunluğu.	Kinoa, karabuğday vb. psödotahılların kullanımı. Ksantan gam, guar gam ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) gibi hidrokoloidler ile protein izolatlarının ilavesi.	Saturni vd., 2010; Demirkesen & Ozkaya, 2022; Simón vd., 2023; Zandonadi & Romão, 2026
Laktozsuz diyet	Sindirilemeyen laktozun bağırsakta fermentasyonu. Enzimatik hidroliz sırasında ortaya çıkabilen kalite sorunları.	<i>Kluyveromyces lactis</i> kaynaklı enzimler, ultrafiltrasyon/nanofiltrasyon, immobilize enzim sistemleri ve membran reaktörlerin kullanımı. Oral laktaz takviyelerinde mikroenkapsülasyon ve nano-taşıyıcılar.	Li vd., 2023; Hooda vd., 2025; Suneer vd., 2026; Casciano vd., 2026
Düşük proteinli diyet	Emülsiyon stabilitesi, jel oluşumu ve doku gelişiminin kaybı. Sindirim kinetiği farklılıkları ve azalan enerji verimliliği. Elektrolit dengesinin bozulması.	Peynir altı suyundan elde edilen kazein glikomakropeptit (CGMP) entegrasyonu. Yapay zekâ destekli modelleme, hassas fermentasyon ve üç boyutlu (3B) gıda üretim teknolojileri.	Firman vd., 2021; Keskin vd., 2023; Daniel, 2024; Lin vd., 2024

Düşük fermente edilebilir oligosakkaritler, disakkaritler, monosakkaritler ve polioller (FODMAP) diyeti	Yararlı bağırsak bakterilerinde azalma ve mikrobiyota bozulması. Kısa zincirli karbonhidratların gıda matriksinden uzaklaştırılması zorluğu.	Spesifik enzimler (inülinaz, α -galaktosidaz) ve ultrafiltrasyon uygulamaları. Laktik asit bakterileri ve alternatif mayalar (<i>Kluyveromyces marxianus</i>) ile hedeflenmiş fermentasyon.	Lanen vd., 2021; So vd., 2022; Ispiryan vd., 2022; Schmidt & Raczyk, 2024
Diyabetik diyet	Karbonhidrat sindirim hızının kontrolü ve glukoz dalgalanmaları. Glisemik kontrol sağlayan polifenollerin düşük stabilitesi.	Polifenollerin mikroenkapsülasyon ve nano-taşıyıcılarla matrikse entegrasyonu. Çözünür lif ilavesi ile filizlendirme/retrogradasyon işlemleri. Yüksek basınçlı homojenizasyon ile emülsiyon stabilizasyonu.	Sun vd., 2020; Nie vd., 2021; Wu vd., 2020; Gandhi vd., 2024; Zheng vd., 2024
Ketojenik diyet	Yüksek yağlı sistemlerde fiziksel stabilite kaybı (yağ fazının ayrışması). Tahıl bazlı yapıların ikame edilmesindeki tekstürel zayıflık.	Bitkisel emülgatörler ve lipitlerle yağ-içinde-su (O/W) emülsiyon stabilitesinin artırılması. Psyllium ve inülin gibi prebiyotik liflerin kullanımı. Kas kütlesi kaybını önlemek için peynir altı suyu protein izolatları entegrasyonu.	Benitez vd., 2020; Rostanzo vd., 2021; Gasparre vd., 2022
Vejetaryen diyet	Hayvansal proteinlerin reolojik, fonksiyonel ve yapısal özelliklerinin bitkisel kaynaklarla taklit edilememesi.	Tahıl-baklagil kombinasyonu, ekstrüzyon teknolojileri, 3B gıda yazımı ve Couette hücresi kullanımı. Yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ile spesifik reolojik optimizasyonlar.	Schillaci vd., 2022; Karimidastjerd vd., 2024; Vignesh vd., 2024
Vegan diyet	Bitki proteinlerinin düşük çözünürlüğü ve zayıf emülsifikasyon kapasitesi. B12, D vitamini ve demir gibi mikrobelerin biyoyararlanım yetersizliği.	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ile biyoteknolojik fermentasyon (fortifikasyon). Ultrasonikasyon, vurgulu elektrik alan (PEF) ve soğuk plazma ile fiziksel modifikasyon. Probiyotikler için mikroenkapsülasyon.	Savoldi vd., 2022; Goyal vd., 2024; Rana vd., 2025
Aralıklı oruç	Ciddi enerji kısıtlamasında (ör. 5:2 modeli) B grubu vitaminleri, demir ve kalsiyum eksikliği. Uzun süreli tokluğun sağlanması ihtiyacı.	Mikroenkapsülasyonla zenginleştirilmiş yüksek besin yoğunluklu ikame öğünler. Guar gam, pektin ve okaradan elde edilen çözünmez liflerle kontrollü sindirim kinetiği.	Ganesan vd., 2018; Scholtens, 2019; S. Varady vd., 2021; Wang vd., 2023
Akdeniz diyeti	Fitokimyasalların matriksten yeterli salınım zorluğu. Oksidasyona	Moleküler gastronomi teknikleri ve laktik asit bakterileri ile fermentasyon.	Silva vd., 2023; Bavaro vd.,

	duyarlı sağlıklı lipidlerin raf ömrü boyunca stabilitesinin korunması.	Besinsel bütünlüğü koruyan nanoenkapsülasyon ve nanoteknoloji yapıları ambalaj sistemleri.	2024; Petkoska vd., 2025
Ayurveda diyeti	Zerdeçal ve zencefil gibi baharatlardaki biyoaktif bileşiklerin ısıya duyarlı olması ve biyoyararlanımlarının düşük kalması.	Yüksek basınçlı işleme (HPP), soğuk plazma (CP) ve mikro/nanoenkapsülasyon sistemleri ile aktif bileşenlerin mideden korunarak hedef bölgede kontrollü salınımı.	Sharma & Prajapati, 2014; Verma vd., 2024; Gautam vd., 2025;

Eliminasyon ve kısıtlı diyetler

Besin intoleransları, kalıtsal metabolik hastalıklar ve spesifik klinik tablolar doğrultusunda uygulanan eliminasyon ve kısıtlama diyetleri, modern beslenme stratejilerinin temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Bu diyet modelleri, belirli besin bileşenlerinin diyetten tamamen izole edilmesi veya tolerans eşikleri doğrultusunda kontrollü şekilde sınırlandırılması esasına dayanmaktadır. Gıda mühendisliği perspektifinden bakıldığında bu süreç, bir gıda matriksinin hücresel ve moleküler düzeyde parçalanması (dekonstrüksiyonu) ve biyoyararlanım ile reolojik özellikler korunarak yeniden inşa edilmesi (rekonstrüksiyon) olarak tanımlanabilir (Schillaci vd., 2022). Günümüzde glütensiz, laktozsuz, düşük proteinli ve düşük FODMAP diyetler gibi eliminasyon temelli yaklaşımlar, tıbbi gerekliliklerin ötesinde popüler birer tüketici eğilimi haline gelmiş olsa da bu diyetlerin bilinçsiz uygulanması ciddi beslenme yetersizliklerine ve metabolik dengesizliklere yol açabilmektedir (Ispiryan vd., 2022; So vd., 2022).

Glütensiz diyet

Glütensiz diyet (GD), günümüzde başta çölyak hastalığı olmak üzere glüten ilişkili diğer bozuklukların (çölyak dışı glüten hassasiyeti ve buğday alerjisi) klinik yönetiminde kabul edilen temel tedavi yaklaşımıdır. Glütenin başlıca bileşenleri olan gliadin ve glutenin proteinlerinin, genetik yatkınlığı bulunan bireylerde bağırsak epitel hücrelerindeki sıkı bağlantıları etkilediği bilinmektedir. Bu süreçte zonulin salınımının artması, bağırsak geçirgenliğinin yükselmesine ve immün yanıtın tetiklenmesine yol açmaktadır (Sabença vd., 2021).

Son yıllarda GD, tıbbi gerekliliklerin ötesine geçerek popüler bir beslenme yaklaşımı haline gelmiştir. Kilo verme, sindirim konforunu

artırma veya kardiyovasküler hastalıklardan korunma gibi amaçlarla sağlıklı bireyler tarafından da yaygın şekilde tercih edilmektedir. Ancak geniş ölçekli çalışmalar, gluten kısıtlamasının sağlıklı bireylerde kardiyovasküler açıdan belirgin bir koruyucu etkisi olmadığını göstermektedir (Schmucker vd., 2022). Bunun aksine, tam tahılların diyetten çıkarılması; diyet lifi, B vitaminleri ve bazı minerallerin alımını azaltabilmekte ve uzun vadede metabolik sendrom, tip 2 diyabet ve bağırsak mikrobiyotasında dengesizlik riskini artırabilmektedir (Sabença vd., 2021; Schmucker vd., 2022).

Çölyak hastalarında katı bir glütensiz diyet uygulaması ile bağırsak yapısı büyük ölçüde iyileşebilse de bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler tamamen geri döndürülmeyebilir. Özellikle *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* türlerinde azalma devam edebildiğinden, prebiyotik ve probiyotik destekler diyet yönetiminde tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir (Caio vd., 2020).

Gıda mühendisliği ve beslenme bilimleri açısından değerlendirildiğinde, glütensiz ürün geliştirme süreci önemli teknolojik ve besinsel zorluklar içermektedir. Glütenin hamura kazandırdığı viskoelastik ağın eksikliği, ürünlerde düşük hacim, kırılgan yapı ve hızlı bayatlama gibi karakteristik yapısal zayıflıklara yol açmaktadır (Demirkese & Ozkaya, 2022). Endüstride bu yapısal eksiklikleri ve lezzet kayıplarını maskelemek amacıyla ticari ürünlere yüksek oranda bitkisel yağ, ilave şeker ve sodyum eklenmekte; bu durum ürünlerin enerji yoğunluğunu yükselterek uzun vadede obezite ve kardiyometabolik hastalık risklerini artırabilmektedir (Saturni vd., 2010; Simón vd., 2023). Bunun yanı sıra, glütensiz ürünlerin üretiminde kullanılan alternatif hammaddeler bazı gıda güvenliği sorunlarını da beraberinde getirebilmektedir. Özellikle pirinç bazlı ürünlerde arsenik gibi ağır metallerin birikimi ve mikotoksin riski dikkat çekmektedir (Zandonadi & Romão, 2026).

Karşılaşılan bu yapısal ve besinsel problemleri aşmak amacıyla gıda teknolojisinde çeşitli mühendislik stratejileri geliştirilmektedir. Düşük lif ve protein profiline sahip nişasta bazlı formülasyonların zenginleştirilmesi için kinoa, karabuğday, amarant, teff ve sorgum gibi biyoaktif bileşikler açısından zengin psödotahılların kullanımı yaygınlaşmakta; ayrıca çapraz kontaminasyondan arındırılmış saf yulaf entegrasyonu ile diyetin genel mineral profilinin dengelenmesi hedeflenmektedir (Saturni vd., 2010; Demirkese & Ozkaya, 2022). Teknolojik açıdan ise ksantan gam, guar

gam ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) gibi hidrokolloidler ile protein izolatları kullanılarak yapı geliştirilmektedir.

Tüm bu teknolojik iyileştirmelere karşın glütensiz diyetin sürdürülebilirliği büyük bir tartışma konusudur. Glütensiz gıdaların geleneksel ürünlere kıyasla daha yüksek maliyetli olması, bireyler üzerinde ekonomik yük oluşturabilmektedir. Ayrıca üretim sürecinde çapraz bulaşı engellemek için alınan önlemler, ambalaj kullanımını artırarak çevresel sürdürülebilirlik açısından ek sorunlar doğurabilmektedir (Aljada vd., 2021; Zandonadi & Romão, 2026). Klinik açıdan bakıldığında, diyetin sıkı uygulanmasına rağmen bazı hastalarda gizli glüten maruziyetine bağlı olarak yanıtız çölyak tabloları gelişebilmektedir. Günümüzde bu durum, idrar ve dışkıda glüten immünojenik peptitlerin (GIP) ölçümü ile daha hassas şekilde izlenebilmektedir. Gelecekte ise glütenin bağırsakta parçalanmasını sağlayan enzimatik preparatlar, bağırsak geçirgenliğini düzenleyen inhibitörler ve immünoterapötik yaklaşımlar gibi yenilikçi tedavi stratejilerinin mevcut beslenme tedavilerine entegre edilmesi beklenmektedir (Simón vd., 2023).

Laktozsuz diyet

Dünya genelinde yetişkin nüfusun önemli bir kısmını etkileyen laktoz malabsorbsiyonu, ince bağırsakta laktoz sindiriminden sorumlu olan laktaz-florizin hidrolaz enziminin aktivitesindeki azalmaya bağlı olarak gelişmektedir. Sindirilemeyen laktozun kolona geçerek bakteriyel fermantasyona uğraması, gaz, şişkinlik ve ishal gibi gastrointestinal semptomlara yol açmaktadır (Catanzaro vd., 2021). Bu durumun arkasındaki birincil neden genellikle genetik yatkınlıktır; özellikle laktazı kodlayan genindeki polimorfizmlerle düzenlenen yetişkin tipi hipolaktazi, dünya nüfusunun büyük bir kısmını etkileyen evrimsel bir süreçtir (Lukito vd., 2015).

Tanı sürecinde hidrojen nefes testi ve genetik analizler standart yöntemler olarak kabul edilse de klinik pratikte tanıya ulaşma süresi çoğu zaman uzayabilmektedir. Bu gecikme, bireylerin yaşam kalitesi üzerinde hem psikososyal hem de ekonomik açıdan olumsuz etkiler yaratmaktadır (Rachwał vd., 2024; Dominici vd., 2025). Bununla birlikte, bazı bireyler tıbbi tanı olmaksızın kendi algıladıkları semptomlara dayanarak diyetlerinden süt ve süt ürünlerini tamamen çıkarmaktadır. Özellikle irritabl bağırsak sendromu (IBS) olan bireylerde yapılan çalışmalar,

semptomların sıklıkla süte atfedildiğini; ancak objektif testler sonucunda gerçek laktoz intoleransının her zaman doğrulanmadığını göstermektedir (Pop vd., 2025). Bu tür gereksiz eliminasyonlar, kalsiyum alımının azalmasına, kemik mineral yoğunluğunun düşmesine ve uzun vadede kemik erimesi riskinin artmasına neden olabilmektedir (Jung vd., 2025).

Laktoz intoleransının diyetle yönetiminde yaygın bir klinik yanılğı, laktozun tamamen elimine edilmesi gerektiğidir. Oysa mevcut veriler, birçok bireyin belirli miktarlarda laktozu tolere edebildiğini göstermektedir. Örneğin, intolerans bildiren bireylerin önemli bir kısmı tek bir öğünde yaklaşık 12–15 gram laktozu (yaklaşık bir su bardağı süt) ciddi bir semptom yaşamadan tüketebilmektedir (Corgneau vd., 2017). Ayrıca, düşük dozlarda alınan laktozun bağırsak mikrobiyotası üzerinde prebiyotik etki göstererek kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini destekleyebileceği bildirilmektedir (Lukito vd., 2015; Salvo & Cicero, 2025).

Sağlıklı bireylerin laktozsuz ürünlere yönelmesi ise her zaman avantaj sağlamamaktadır. Bazı çalışmalar, laktozsuz süt tüketiminin bağırsak fermantasyon profili üzerinde farklı etkiler oluşturabileceğini ve belirli metabolitlerin üretimini artırabileceğini göstermektedir (Casciano vd., 2026). Bu nedenle, tamamen eliminasyon yerine bireye özgü tolerans düzeyinin belirlenmesi daha uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Klinik uygulamada, yoğurt gibi canlı kültür içeren fermente ürünler, probiyotik destekler ve alternatif süt seçenekleri önemli yer tutmaktadır (Corgneau vd., 2017; Catanzaro vd., 2021).

Gıda mühendisliği açısından değerlendirildiğinde, laktozsuz ürün geliştirme süreçleri biyoteknolojik ilerlemelerle sürekli gelişmektedir. Endüstride laktoz hidrolizi, başta *Kluyveromyces lactis* olmak üzere çeşitli maya ve bakteri kaynaklı β -galaktosidaz enzimleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu süreçler, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon gibi membran teknolojileri ile entegre edilerek proses verimliliği artırılabilmektedir (Li vd., 2023; Hooda vd., 2025). Bununla birlikte, enzimatik hidroliz sırasında oluşabilecek kalite sorunlarını azaltmak amacıyla immobilize enzim sistemleri ve membran reaktörleri gibi yenilikçi yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Oral laktaz takviyelerinin etkinliğini artırmak amacıyla, enzimlerin mide ortamından korunarak bağırsakta hedeflenen bölgede salınımını sağlayan mikroenkapsülasyon teknikleri ve nano-taşıyıcı sistemler geliştirilmektedir (Suneer vd., 2026). Ayrıca genetik mühendisliği

yaklaşımlarıyla modifiye edilen süt kültürleri sayesinde laktozun üretim aşamasında parçalanması mümkün hale gelmektedir (Casciano vd., 2026).

Laktozsuz diyet uygulamaları yalnızca yetişkinlerle sınırlı olmayıp, pediatrik beslenmede de önemli sonuçlar doğurabilmektedir. Laktoz içermeyen bebek formüllerinde laktoz yerine kullanılan alternatif karbonhidratların diş sağlığı üzerindeki olası etkileri dikkat çekmektedir (Smutkeeree vd., 2025). Bu bulgular, laktozsuz diyetin yalnızca bir beslenme tercihi değil; bireyin genetik yapısı, mikrobiyota profili ve klinik durumu dikkate alınarak planlanması gereken bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Düşük proteinli diyetler

Düşük proteinli diyetler (DPD), kronik böbrek hastalığı (KBH) ve fenilketonüri (PKU) gibi metabolik hastalıkların yönetiminde uygulanan temel beslenme stratejilerinden biridir. Ancak bu diyetler, yalnızca protein kısıtlamasından ibaret olmayıp, gıda matriksinin yeniden yapılandırılmasını gerektiren çok boyutlu bir mühendislik problemidir. Formülasyon sürecinde toplam protein miktarının azaltılması, eksilen maddenin karbonhidratlar, yağlar veya serbest amino asitlerle dengelenmesini zorunlu kılar (Firman vd., 2021; Keskin vd., 2023). Bu değişim, yalnızca besin bileşimini değil, aynı zamanda sindirim kinetiğini ve besin öğeleri arasındaki etkileşimleri de önemli ölçüde etkiler (Kidd vd., 2021; Liu vd., 2023).

Doğal proteinlerin yerine serbest amino asitlerin kullanılması, sindirim ve emilim hızlarında belirgin farklılıklara yol açmaktadır. Serbest amino asitler bağırsaktan hızlı bir şekilde emilirken, protein yerine kullanılan kompleks karbonhidratların daha yavaş sindirilmesi, glikoz ve amino asitlerin metabolik düzeyde eş zamanlı kullanımını zorlaştırabilmektedir. Bu durum, enerji metabolizmasında verimliliğin azalmasına neden olabilmektedir (Kidd vd., 2021). Ayrıca dallı zincirli amino asitler arasındaki rekabetçi emilim mekanizmaları, formülasyon sürecinde dikkatle dengelenmesi gereken önemli bir parametredir.

Düşük proteinli ürün geliştirme sürecinde karşılaşılan en önemli zorluklardan biri, protein eksikliğinin gıdanın yapısal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisidir. Proteinler, emülsiyon stabilitesi, jel oluşumu, viskozite ve doku gelişimi gibi birçok teknolojik işlevi yerine getirmektedir. Bu nedenle, özellikle PKU hastaları için geliştirilen

fenilalaninsiz ürünlerde kullanılan sentetik amino asit karışımları, doğal proteinlerin sağladığı bu fonksiyonel özellikleri tam olarak karşılayamamaktadır (Firman vd., 2021; Daniel, 2024). Bu sınırlamaları aşmak amacıyla son yıllarda fonksiyonel protein alternatifleri geliştirilmiştir. Peynir altı suyu işleme süreçlerinden elde edilen kazein glikomakropeptit (CGMP), fenilalanin içermemesi ve gıda matriksine daha iyi entegre olabilmesi nedeniyle önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. CGMP'nin kullanımı, ürünün doku özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra tüketici kabulünü ve tokluk hissini artırabilmektedir (Keskin vd., 2023).

Protein kısıtlaması aynı zamanda gıdanın mineral ve elektrolit dengesini de etkileyebilmektedir. Protein kaynaklarının formülasyondan çıkarılması, gıdanın doğal iyonik yapısında değişikliklere yol açarak elektrolit dengesini bozabilir. Bu nedenle, ürün geliştirme sürecinde mineral içeriğinin dikkatle dengelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde metabolik asidoz ve bağırsak taşıyıcı sistemlerinde fonksiyonel bozulmalar görülebilmektedir (Lin vd., 2024).

Düşük proteinli diyetler, özellikle KBH hastalarında bitki temelli beslenme yaklaşımlarıyla birlikte değerlendirilmektedir. Bitki baskın düşük proteinli diyet modelinde, günlük protein alımının önemli bir kısmının bitkisel kaynaklardan sağlanması hedeflenmektedir (Kalantar-Zadeh vd., 2020). Bitkisel proteinlerin içerdiği fosforun fitat formunda bulunması, biyoyararlanımını azaltarak kandaki fosfor yüksekliği riskini sınırlayabilmektedir (Ko & Kalantar-Zadeh, 2021). Ayrıca yüksek lif içeriği, bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek protein fermantasyonu sonucu oluşan toksik metabolitlerin üretimini azaltmaktadır (Liu vd., 2023).

Günümüzde düşük proteinli diyetler, sürdürülebilir gıda sistemleri bağlamında da önem kazanmaktadır. Azot ve amonyak emisyonlarının azaltılmasına yönelik küresel hedefler, düşük proteinli ürün geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır (Wang vd., 2018; Liu vd., 2023). Yapay zekâ destekli modelleme, hassas fermantasyon, mikroorganizma temelli sistemler ve 3B gıda teknolojileri gibi yeniliklerle geliştirilen yeni nesil protein alternatifleri sayesinde, düşük proteinli diyetlerin gelecekte yalnızca tıbbi bir gereklilik olmaktan çıkıp, alanı klinik ve teknolojik açıdan yeniden tanımlayan fonksiyonel ürünlere dönüşmesi beklenmektedir (Daniel, 2024).

Düşük FODMAP

Fermente edilebilir kısa zincirli karbonhidratların sınırlandırılmasına dayanan düşük FODMAP diyeti, eliminasyon temelli beslenme yaklaşımları arasında teknolojik müdahale gereksinimi en yüksek uygulamalardan biridir. Bu diyet modeli, başta IBS olmak üzere, visseral hipersensitivite ve lümen distansiyonu ile karakterize gastrointestinal bozuklukların yönetiminde altın standart kabul edilmektedir. İnce bağırsakta zayıf emilen bu bileşenlerin kolonda hızlı fermente edilmesiyle oluşan semptomlar, gıda mühendisliği perspektifinden bakıldığında gıda matriksindeki fermentasyon potansiyelinin biyoteknolojik yöntemlerle kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır (Bertin vd., 2024).

Düşük FODMAP protokolü, yalnızca belirli karbonhidrat gruplarının diyetten çıkarılması değil; gıda işleme teknikleri kullanılarak gıdanın bağışıklık sistemini tetikleyen (immünojenik) ve fermente edilebilir yükünün azaltılması sürecidir. Geniş çaplı araştırma sonuçları, bu kısıtlı diyetin semptom kontrolünde %50–86 oranında başarı sağladığını gösterse de prebiyotik etkili fruktan ve galakto-oligosakkaritlerin uzun süreli eliminasyonu, bağırsak mikrobiyotasında özellikle *Bifidobacterium* türlerinin azalmasına yol açabilmektedir (Lanen vd., 2021; So vd., 2022). Bu nedenle, bu diyetin metodolojik olarak kısa süreli bir eliminasyon fazı ile sınırlandırılması ve ardından kontrollü bir yeniden yükleme aşamasına geçilmesi, sürecin başarısı ve mikrobiyota sağlığı için kritiktir (Lomer, 2024).

Gıda mühendisliği uygulamaları, düşük FODMAP diyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla tahıl ve baklagil matrislerinde hedeflenmiş modifikasyonlar geliştirmekte ve geleneksel yaklaşımlarının ötesine geçen biyoteknolojik stratejiler sunmaktadır. Spesifik enzim uygulamaları (inülinaz ve α -galaktosidaz) ve ultrafiltrasyon gibi fiziksel ayırma teknikleri ile gıda matrislerindeki FODMAP içeriği biyokimyasal düzeyde minimize edilebilirken; ekmek üretiminde kullanılan Tip II ekşi maya fermentasyonu, hedeflenmiş laktik asit bakterileri ve *Kluyveromyces marxianus* gibi alternatif maya türleri ile kombine edildiğinde fruktan içeriğinde %90'ın üzerinde azalma sağlayabilmektedir (İspiryan vd., 2022; Schmidt & Raczky, 2024). Bu teknikler, ürünün hem besinsel profilini korumakta hem de gözenek yapısı, hacim ve yumuşaklık gibi duysal özelliklerini iyileştirerek tüketici kabulünü artırmaktadır. Düşük FODMAP'li ürünlerin geliştirilmesi kadar, bu ürünlerin analitik

doğrulanması da günümüzde nanoteknoloji tabanlı analiz sistemleri sayesinde hız kazanmıştır. Yapay zekâ destekli floresan sensörler, gıdadaki FODMAP seviyelerini yüksek doğrulukla sınıflandırabilmekte ve klinik takip süreçlerinde mikrobiyota kaynaklı biyolojik işaretçileri analiz edebilmektedir (Cheng vd., 2025).

Eliminasyon diyetlerin uygulama süreci

Eliminasyon diyetlerinin uygulanma süreci, klinik beslenmede yalnızca alerjen veya tetikleyici bir gıdanın menüden çıkarılması işlemi değil; gıda mühendisliği perspektifinden gıda matriksinin hücresel ve moleküler düzeyde dekonstrüksiyonu (parçalanması) ve biyoyararlanım ile reolojik özellikler korunarak yeniden inşa edilmesi (rekonstrüksiyon) sürecidir. Alerjen kısıtlamalarında yapılan en büyük mühendislik hatalarından biri, menüden çıkarılan temel gıdaların (süt, buğday vb.) yerine ultra-işlenmiş gıdaların (UPF) ikame edilmesidir. Isıl işlemler, yüksek basınçlı ekstrüzyon ve formülasyon süreçleri sırasında ortaya çıkan ileri glikasyon son ürünleri, gıdanın immünojenik profilini değiştirerek bağırsak mikrobiyotasını bozmakta ve hastanın alerji eşiğini tehlikeli biçimde düşürebilmektedir (Kotchetkoff vd., 2024). Öte yandan, gıda işleme teknikleri doğru optimize edildiğinde immün toleransı teşvik eden güçlü bir biyoteknolojik araca dönüşebilmektedir. Örneğin, fırınlama ve yüksek sıcaklık uygulamaları, yer fıstığı ve yumurta gibi gıdalardaki alerjenik proteinlerin üç boyutlu konformasyonel yapısını bozarak hücresel reaktiviteyi maskeleyerek ve erken dönem immün tolerans gelişimini desteklemektedir (Leone vd., 2023).

İnek sütü ve buğday gibi hem kalori yoğunluğu hem de yapısal bağlayıcılığı yüksek gıdaların eliminasyonu, basit bitkisel süspansiyonlarla (örneğin ticari yulaf veya pirinç içecekleriyle) telafi edilemez. Bu bitkisel muadiller matriksin reolojisini fiziksel olarak taklit etseler de besinsel bir boşluk yaratırlar; profesyonel bir ikame sağlanmadığında çocuklarda boya göre kilo eğrilerinde ciddi gerilemelere, kısılğa ve kemik demineralizasyonuna yol açabilmektedirler (Rekowska & Czerwionka-Szaflarska, 2018). Bu noktada gıda biyoteknolojisi, alerjenik moleküllerin enzimatik reaktörlerde spesifik peptit bağlarından kesildiği hidrolize formüllerin veya tümüyle sentetik serbest amino asitlerin bitkisel lipidlerle emülsifiye edildiği elementer mamaların tasarımını zorunlu kılmaktadır (Madison vd., 2020).

Eliminasyon sürecinin gıda formülasyonlarına yansımaları, geleneksel alerjilerin ötesinde çok daha geniş bir hastalık yelpazesini şekillendirmektedir. Ampirik olarak uygulanan altı gıda eliminasyon diyeti sonrasındaki uzun vadeli takiplerde, enflamasyonu tetikleyen ana unsurların çoğu kez sadece süt (%37-53) veya buğday (%26-37) gibi spesifik matris bileşenleri olduğu tespit edilmiştir (Reed vd., 2017; Zalewski vd., 2022). Bundan dolayı endüstrinin her şeyden arındırılmış ve dolayısıyla tekstürel ve duyuşsal zayıflığı olan jenerik kısıtlı ürünler üretmek yerine, tek bir alerjene odaklanmış hedefli modüler formülasyonlar geliştirmesi gerektiğini göstermektedir.

Eliminasyon diyetlerinin üretim bandından kliniğe geçişinde, teşhisin sınırları ve gıdadaki antijen kalıntı limitleri rasyonel bir temele oturtulmalıdır. Eliminasyon diyetlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, salt popüler bir trend veya gereksiz bir kısıtlama döngüsünden ziyade; hastanın klinik tolerans eşiği, kullanılan ikame formüllerin makro besin yoğunluğu ve gıda matriksinin işlenme öyküsü dikkate alınarak kurgulanması gereken multidisipliner bir mühendislik optimizasyonudur (Rekowska & Czerwionka-Szaflarska, 2018; Awuchi vd., 2020).

Metabolik ve klinik diyetler

Metabolik ve klinik diyetler, gıda bileşenlerinin sindirim sonrası oluşturduğu biyokimyasal sinyalleri ve hormonal yanıtları modüle etmeyi hedefleyen ileri düzey beslenme modelleridir (Harlan vd., 2023). Eliminasyon diyetlerinden farklı olarak bu grupta odak noktası, bir bileşeni tamamen sistemden çıkarmaktan ziyade; gıda matrisinin glisemik indeksini düşürmek, yağ asidi profilini optimize etmek veya makro besin oranlarını değiştirerek vücudu belirli bir metabolik duruma (örneğin ketozis veya stabilize kan şekeri) yönlendirmektir (Wu vd., 2020; Drabinska vd., 2021). Gıda mühendisliği perspektifinden bu süreç, gıdanın sadece bir besin kaynağı olarak değil, aynı zamanda metabolik çıktısı önceden tasarlanmış, kontrollü bir salım sistemi olarak ele alınmasını gerektirir (Sun vd., 2020). Bu bağlamda metabolik diyetlerin başarısı, gıdanın ağızdaki duyuşsal profilinden bağırsaktaki sindirim kinetiğine kadar uzanan geniş bir yelpazede uygulanan hassas proses mühendisliğine dayanmaktadır (Zheng vd., 2024).

Diyabetik diyet

Diyabetik diyetlerin planlanması ve yönetimi, klinik metabolizma ile modern gıda mühendisliğinin kesiştiği en önemli alanlardan birini oluşturmaktadır. Özellikle tip 2 diyabet, yalnızca glukoz metabolizmasındaki bozukluklarla sınırlı olmayan; enflamasyon, bağırsak mikrobiyotası değişimleri ve insülin direnciyle ilişkili kompleks bir metabolik hastalık olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde ultra işlenmiş gıdalar, rafine karbonhidratlar ve doymuş yağlar açısından zengin batı tipi beslenme modellerinin, bağırsak bariyer bütünlüğünü bozarak sistemik enflamasyonu ve insülin direncini artırdığı bilinmektedir (Awuchi vd., 2020; Gong & Lai, 2025).

Bağırsak mikrobiyotası düzeyinde değerlendirildiğinde, bu beslenme modeli bağırsak florasının bozulmasına (disbiyoz) yol açmakta; *Faecalibacterium*, *Bifidobacterium* ve *Akkermansia* gibi yararlı bakterilerin azalmasına neden olmaktadır. Buna karşılık gram-negatif bakterilerden kaynaklanan lipopolisakkaritlerin dolaşıma geçmesiyle metabolik toksin gelişmekte ve enflamatuvar sinyal yolları aktive olmaktadır (Guo vd., 2022). Bu süreç sonucunda, insülin sinyal mekanizmalarını bozarak insülin direncinin gelişimine katkıda bulunmaktadır (Gandhi vd., 2024). Bu nedenle güncel beslenme yaklaşımları, düşük glisemik indeksli, liften zengin ve mikrobiyota dostu fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine odaklanmaktadır (Iizuka & Yabe, 2023).

Diyabetik ürün formülasyonlarında temel hedeflerden biri, karbonhidrat sindirim hızının kontrol edilmesi ve postprandiyal glukoz dalgalanmalarının azaltılmasıdır. Bitkisel kaynaklı polifenoller; α -amilaz ve α -glukozidaz enzimlerini inhibe ederek nişastanın glukoz dönüşümünü yavaşlatabilmektedir (Sun vd., 2020). Bu mekanizma, glisemik kontrolün iyileştirilmesine katkı sağlamanın yanı sıra ileri glikasyon son ürünlerinin oluşumunu baskılayarak diyabetik komplikasyon riskini azaltabilmektedir (Gandhi vd., 2024).

Yeşil çay kateşinleri ve kahvede bulunan klorojenik asit gibi bileşikler, özellikle diyabete bağlı retina hasarına karşı sinir hücrelerini koruyucu (nöroprotektif) etkileriyle öne çıkmaktadır (Bryl vd., 2022). Benzer şekilde tarçın, zencefil, karanfil ve kekik gibi baharatlardan elde edilen bazı etken maddelerin, hücresel mekanizmaları uyarak kandaki glukozun hücreler

tarafından emilimini desteklediği bilinmektedir (Gandhi vd., 2024). Ancak bu bileşiklerin düşük stabilitesi ve biyoyararlanımı, gıda mühendisliğinde mikroenkapsülasyon ve nano-taşıyıcı sistemler gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımını gerekli kılmaktadır (Sun vd., 2020).

Diyabetik diyetlerde lif ve hidrokolloid seçimi de büyük önem taşımaktadır. Özellikle beta-glukan, guar gam, arabinogalaktan ve pektin gibi çözünür liflerin glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Nie vd., 2021). Bu lifler bağırsakta fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini artırmakta ve bu sayede tokluk hormonlarının salınımını uyarak glukoz homeostazına katkı sağlamaktadır (Wu vd., 2020).

Gıda işleme teknolojileri de ürünlerin antidiyabetik özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Filizlendirme işlemleri, tahıllardaki fitik asit gibi antinütriyonel bileşenlerin azalmasına yardımcı olurken; retrogradasyon işlemleri dirençli nişasta miktarını artırarak glukoz salım hızını düşürebilmektedir (Wu vd., 2020). Buna karşılık kontrolsüz ekstrüzyon işlemleri, bazı lif bileşenlerinin moleküler yapısını bozarak fonksiyonel özelliklerini azaltabilmektedir.

Güncel klinik kılavuzlar, diyabet yönetiminde tek tip bir makrobesin dağılımı yerine, kişiselleştirilmiş beslenme modellerinin uygulanmasını önermektedir (Iizuka & Yabe, 2023). Düşük karbonhidratlı diyetler kısa vadede kilo kaybı ve glisemik kontrol açısından etkili olabilse de kullanılan kaynaklarının niteliği büyük önem taşımaktadır (Goldenberg vd., 2021).

Diğer taraftan, yapay tatlandırıcıların bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olası olumsuz etkileri nedeniyle temiz etiketli ve doğal içerikli ürünlere yönelik ilgi giderek artmaktadır (Iizuka & Yabe, 2023). Bu yaklaşım, tüketici beklentilerinin yanı sıra sürdürülebilir ve fonksiyonel ürün geliştirme stratejileriyle de örtüşmektedir.

Diyabet yönetiminde kalori alımını sınırlayan tıbbi beslenme ürünleri oldukça önemlidir. Öğün yerine tüketilen özel sıvı formüllerin karaciğer ve pankreastaki yağlanmayı azalttığı, bu sayede insülin üretimini düzelterek bazı hastalarda diyabeti geriletebildiği kanıtlanmıştır (Ahmad vd., 2022; Churuangsuk vd., 2022). Özel tıbbi amaçlı diyabetik ürünlerin geliştirilmesinde fiziksel stabilite önemli bir proses kriteridir. Yüksek basınçlı homojenizasyon gibi teknolojiler, protein-polisakkarit

etkileşimlerini iyileştirerek emülsiyon stabilitesini artırmakta ve besin öğelerinin daha homojen dağılımını sağlamaktadır (Zheng vd., 2024). Bu tür teknolojik yaklaşımlarla protein, kompleks karbonhidrat, yağ ve sağlıklı destekleyici besin bileşenlerinin biyoyararlanımı artırılabilir.

Ketojenik diyet

Ketojenik diyet (KD), günlük karbonhidrat alımının genellikle 50 g'ın altına düşürüldüğü, enerjinin büyük ölçüde yağlardan sağlandığı ve organizmanın ketozis olarak tanımlanan metabolik duruma yönlendirildiği kısıtlayıcı bir beslenme modelidir (Drabinska vd., 2021; Galali vd., 2024). Bu süreçte karaciğerde asetoasetat ve β -hidroksibutirat gibi keton cisimcikleri üretilmekte ve glukoz yerine alternatif enerji substratı olarak kullanılmaktadır. Hücresel düzeyde değerlendirildiğinde ketozis; glukoneogenezi desteklemesi, açlık hormonu olan ghrelini baskılaması ve yağ oksidasyonunu (yağ yakımını) artırması nedeniyle obezite yönetiminde hızlı kilo kaybına katkı sağlamaktadır. Ayrıca ketojenik diyetlerin, insülin direncini azaltma ve uzun dönem kan şekerini iyileştirme açısından geleneksel düşük yağlı diyetlere kıyasla belirgin avantajlar sunduğu görülmektedir (Alharbi & Al-Sowayan, 2020; Choi & Jeon, 2020). Bununla birlikte, diyetin uzun süreli uygulanması lif, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve bazı vitaminlerin yetersiz alımına neden olabilmekte; kabızlık, dehidrasyon, böbrek taşı oluşumu (nefrolitiazis) ve kemik mineral yoğunluğunda azalma gibi komplikasyon risklerini artırabilmektedir (Drabinska vd., 2021). Bu nedenle ketojenik diyetlerin sürdürülebilirliği açısından, mikrobeyinlerle zenginleştirilmiş ve dengeli formülasyonların geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır.

Ketojenik ürünlerin endüstriyel ölçekte geliştirilmesi, yüksek yağ içeriğine sahip sistemlerin fiziksel stabilitesinin korunmasını gerektiren önemli bir gıda mühendisliği problemidir. Özellikle yağ fazının ayrışmasını önlemek amacıyla, doymamış yağ asitleri ile γ -orizanol ve tokoferol gibi antioksidan bileşenler açısından zengin pirinç kepeği yağı gibi lipid kaynakları kullanılmaktadır. Bu sistemlerde soya proteinleri gibi bitkisel emülgatörlerin entegrasyonu, yağ-içinde-su (O/W) emülsiyonlarının stabilitesini artırmaktadır (Benitez vd., 2020).

Günümüzde ketojenik ürün geliştirme yaklaşımları, yalnızca makrobeyin oranlarını değil, kullanılan yağ kaynağının metabolik etkilerini de dikkate almaktadır. Metabolik matris yaklaşımı doğrultusunda, aşırı

işlenmiş ticari keto ürünlerinde sükroz ve fruktoz gibi basit şekerlerin eliminasyonu hedeflenirken; proenflamatuvar omega-6 ağırlıklı yağlar yerine dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) içeren deniz kaynaklı omega-3 yağ asitleri ile sızma zeytinyağı gibi fonksiyonel lipidlerin kullanımı önerilmektedir (Harlan vd., 2023).

Ketojenik ürünlerde tahıl bazlı yapıların ikame edilmesi, tekstürel özelliklerin korunması açısından ayrı bir formülasyon zorluğu oluşturmaktadır. Badem, Hindistan cevizi ve soya unu gibi düşük karbonhidratlı alternatifler, ürünlerin protein ve lif içeriğini artırsa da bazı ticari ürünlerde palm yağı veya hindistan cevizi yağı kullanımına bağlı olarak doymuş yağ oranı önemli ölçüde yükselebilmektedir (Gasparre vd., 2022). Klinik çalışmalar, enerjinin büyük kısmını doymuş yağlardan sağlayan bireylerde LDL (kötü) kolesterol seviyelerinde ciddi artışlar yaşanabildiğini göstermektedir (Goldberg vd., 2021). Bu nedenle güncel formülasyon stratejileri, avokado, zeytinyağı ve kuruyemişler gibi tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerinden zengin bitkisel kaynaklara yönelmektedir (Galali vd., 2024).

Bağırsak sağlığının korunması amacıyla ketojenik ürünlerde prebiyotik lif kaynaklarının kullanımı da önem kazanmaktadır. Psyllium, inülin ve glukomannan gibi çözünür lifler, ürünlerin viskozitesini ve duysal özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra bağırsak mikrobiyotasını da destekleyebilmektedir (Gasparre vd., 2022). Çok düşük kalorili ketojenik diyet formülasyonlarında, kas kütlesi kaybını azaltmak amacıyla yüksek kaliteli peynir altı suyu protein izolatlarının kullanımı önerilmektedir (Rostanzo vd., 2021).

Ketojenik diyetlerin uzun dönem başarısı, bireylerin diyetle uyumu ve duysal tatmini ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle son yıllarda, geleneksel ekmek ve makarna ürünlerinin görünüm ve tekstürünü taklit eden yüksek proteinli alternatif ürünlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bitkisel ekstraktlarla zenginleştirilen bu ürünlerin, diyetle uyumu artırabildiği bildirilmektedir (Paoli vd., 2011). Ayrıca dijital beslenme teknolojileri ve algoritma destekli yemek planlama sistemleri sayesinde, bireylerin ketojenik oranları daha hassas şekilde yönetilebilmektedir (Lanzola vd., 2020).

Tatlandırıcı seçimleri de ketojenik ürün tasarımında önemli bir parametredir. Eritritol gibi düşük fermantasyon potansiyeline sahip polioller, kan şekeri ve ketozis üzerinde minimal etki göstermeleri

nedeniyle tercih edilirken; maltitol ve ksilitol gibi bazı tatlandırıcıların gastrointestinal irritasyona ve ketozisin baskılanmasına neden olabileceği bildirilmektedir (Leone vd., 2019).

Yaşam tarzı ve alternatif diyetler

Yaşam tarzı diyetleri, bireylerin sadece klinik gereklilikler doğrultusunda değil; etik değerler, çevresel sürdürülebilirlik, kültürel miras veya kişisel sağlık optimizasyonu hedefleriyle benimsedikleri bütüncül beslenme modelleridir (Hargreaves vd., 2023). Günümüzde yaşam tarzı diyetlerinin merkezinde yer alan sürdürülebilirlik kavramı, gıda üretiminde kaynak verimliliğini ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarını zorunlu kılmaktadır (Berry, 2019; Karadag vd., 2022). Bu bağlamda, bitki temelli diyetlerin yönetiminde kullanılan protein ikame teknolojileri, mikrobesein zenginleştirme (fortifikasyon) stratejileri ve antinütriyonel bileşenlerin biyoteknolojik yöntemlerle uzaklaştırılması, ürün geliştirme süreçlerinin kritik aşamalarını oluşturur (Goyal vd., 2024; Vignesh vd., 2024; Rana vd., 2025).

Vejetaryen diyet

Vejetaryen diyetler, et ve et ürünlerinin diyetten çıkarıldığı; ancak süt, yumurta veya her iki grubun kontrollü şekilde tüketilebildiği beslenme modellerini kapsamaktadır. Lakto-vejetaryen, ovo-vejetaryen ve lakto-ovo vejetaryen gibi alt sınıfları bulunan bu diyetler, yüksek lif, antioksidan vitaminler, polifenoller ve doymamış yağ asitleri bakımından zengin yapıları sayesinde kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon ve tip 2 diyabet riskinin azaltılmasıyla ilişkilendirilmektedir (Koch vd., 2023; T. Wang vd., 2023).

Gıda mühendisliği açısından değerlendirildiğinde, vejetaryen ürün formülasyonlarında temel hedef, hayvansal proteinlerin fonksiyonel özelliklerini bitkisel kaynaklarla yeniden oluşturabilmektir. Bu kapsamda tahıl ve baklagillerin amino asit profillerinin birbirini tamamlayıcı şekilde kombinasyonu, yüksek biyolojik değerli protein matrislerinin geliştirilmesini sağlamaktadır (Vignesh vd., 2024). Ayrıca ekstrüzyon teknolojileri, 3B gıda yazımı ve Couette hücresi gibi ileri proses teknikleri sayesinde bitkisel proteinlerden lifsi ve çığnenebilir et benzeri yapılar üretilebilmektedir (Schillaci vd., 2022).

Vejetaryen süt ve tatlı alternatiflerinde ise reolojik optimizasyon kritik önem taşımaktadır. Pirinç sütü bazlı dondurmalarda yağ ve lif oranlarının

dengelenmesi, buz kristali oluşumunu azaltarak daha pürüzsüz bir yapı sağlarken (Bal-Prylypko vd., 2023); yulaf ve soya sütü bazlı ürünlerde RSM kullanılarak ürünlerin jel yapısı ve viskoelastik özellikleri optimize edilmektedir (Karimidastjerd vd., 2024). Bunun yanında ananas kabuğu gibi gıda yan ürünlerinin bitkisel içeceklere entegre edilmesi hem antioksidan kapasiteyi artırmakta hem de su tutma kapasitesi ve yapısal stabiliteyi iyileştirmektedir (Byresh vd., 2022).

Bununla birlikte, vejetaryen ürünlerin tamamının sağlıklı kabul edilmesi doğru değildir. Yüksek sodyum, rafine karbonhidrat ve doymuş yağ içeren ultra işlenmiş bitkisel ürünler metabolik risk oluşturabilmektedir (T. Wang vd., 2023). Bu nedenle güncel gıda mühendisliği yaklaşımları; temiz etiketli, düşük işlenmiş ve fonksiyonel bileşenlerle zenginleştirilmiş ürün geliştirme stratejilerine odaklanmaktadır.

Vegan diyet

Vegan diyetler, et, süt, yumurta, bal ve diğer tüm hayvansal kaynaklı bileşenlerin tamamen dışlandığı en katı bitki temelli beslenme modelidir. İyi planlandığında yüksek lif, fitokimyasal ve antioksidan içeriği sayesinde enflamasyonun azaltılması, bağırsak mikrobiyotasının desteklenmesi ve kronik hastalık risklerinin düşürülmesinde etkili olabilmektedir (Hargreaves vd., 2023; T. Wang vd., 2023). Bununla birlikte vegan beslenmenin sürdürülebilirliği, mikrobeyen yeterliliğinin sağlanmasına ve biyoyararlanım sorunlarının çözölmesine doğrudan bağlıdır.

Vegan diyetlerde en önemli risklerden biri, B12 vitamini, D vitamini, çinko, demir ve riboflavin gibi mikrobeyenlerin yetersiz alınmasıdır. Özellikle bitkisel kaynaklı demirin fitatlarla kompleks oluşturması, emilimi sınırlamaktadır (Wonderen vd., 2023). Bu nedenle gıda mühendisliği alanında fermentasyon ve fortifikasyon teknolojileri ön plana çıkmaktadır. *Lactiplantibacillus plantarum* ile fermente edilen soya sütlerinde B2 düzeylerinin doğal yollarla artırılması, sentetik takviyelere alternatif biyoteknolojik bir yaklaşım sunmaktadır (Rana vd., 2025).

Vegan ürün geliştirmede bitki proteinlerinin düşük çözölürölük, zayıf emölüsifikasyon kapasitesi ve antibesinsel faktör içeriği gibi teknolojik sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi amacıyla ultrasonikasyon, PEF ve CP gibi fiziksel modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Goyal vd., 2024). Bu işlemler protein yapısını kontrollü

şekilde modifiye ederek emülsiyon stabilitesini, jel oluşumunu ve protein sindirilebilirliğini artırmaktadır.

Probiyotiklerin vegan ürünlere entegrasyonu da son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. *Saccharomyces boulardii* gibi hassas mikroorganizmaların mikroenkapsülasyon teknikleriyle korunması, mide ortamında canlılıklarını sürdürmelerine olanak sağlamaktadır (Savoldi vd., 2022). Ayrıca zeytin karasuyu gibi agro-endüstriyel yan ürünlerden elde edilen fenolik bileşiklerin vegan soslarda doğal koruyucu olarak kullanılması, döngüsel ekonomi yaklaşımının bitki temelli gıda sistemlerine entegrasyonuna örnek oluşturmaktadır (Karadag vd., 2022).

Gelecekte vegan beslenme sistemlerinin yaygınlaşmasında dijital teknolojilerin önemli rol oynayacağı öngörülmektedir. Derin öğrenme tabanlı tarif öneri sistemleri, tüketicilerin bitkisel ürün çeşitliliğini artırmaya yardımcı olurken; akıllı ambalaj ve IoT tabanlı sensör teknolojileri ürün tazeliği ve kalite kontrolünde yeni olanaklar sunmaktadır (Ardisa vd., 2022; Alam vd., 2025). Bununla birlikte tüketici neofobisinin (yeni ürünleri deneme çekincesinin) azaltılması ve bitki temelli ürünlere yönelik güven algısının güçlendirilmesi, teknik gelişmeler kadar önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Amorim vd., 2022).

Aralıklı oruç

Aralıklı oruç (AO), enerji alımının tamamen miktarsal olarak sınırlandırılmasından ziyade, besin tüketiminin belirli zaman aralıklarıyla düzenlendiği ve metabolik homeostaz üzerinde öğün zamanlamasının etkilerini temel alan bir yaşam tarzı beslenme modelidir. Günümüzde AO; zaman kısıtlı beslenme, alternatif gün orucu ve 5:2 modeli gibi farklı uygulama protokolleriyle obezite, metabolik sendrom ve insülin direnci yönetiminde yaygın şekilde araştırılmaktadır. Metabolik açıdan değerlendirildiğinde AO, karaciğer glikojen depolarının azalmasının ardından organizmayı glukoz kullanımından yağ asidi oksidasyonu ve keton cisimciği üretimine yönlendiren bir metabolik şalter oluşturmaktadır (Mattson vd., 2017; Mishra vd., 2024). Bu metabolik geçiş lipolizi artırmakta, insülin duyarlılığını iyileştirmekte, sistemik enflamasyonu baskılamakta ve vücut kompozisyonunda klinik olarak anlamlı değişiklikler oluşturmaktadır (Varady vd., 2021; Liu vd., 2024). Buna ek olarak aralıklı orucun açlık hormonunu baskılayarak iştah kontrolünü desteklediği, kan şekerini iyileştirdiği ve kan yağlarındaki bozulmaları

azaltabildiği bildirilmektedir (Mattson vd., 2017). Bu nedenle gıda mühendisliği perspektifinden AO, yalnızca düşük kalorili ürünlerin geliştirilmesiyle sınırlı olmayıp; açlık fizyolojisini destekleyen, metabolik adaptasyonu bozmayacak ve mikrobiyota dengesini koruyacak fonksiyonel gıda sistemlerinin tasarlanmasını gerekli kılmaktadır.

AO uygulamalarının sürdürülebilirliği, bireyin metabolik adaptasyonunu destekleyen özel formülasyonların geliştirilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda geliştirilen açlığı taklit eden diyetler, düşük karbonhidrat ve düşük protein içeriğine karşın yüksek oranda doymamış yağ asitleri içeren özel medikal gıda sistemleri olarak öne çıkmaktadır. Gıda teknolojisi açısından bu ürünlerin formülasyonu; enerji yoğunluğu düşük, ancak mikrobelerin içeriği yüksek matrislerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle 5:2 modeli gibi ciddi enerji kısıtlaması içeren uygulamalarda B grubu vitaminler, demir ve kalsiyum gibi mikrobelerin yetersiz alınması önemli bir risk oluşturmaktadır (Scholtens, 2019). Bu nedenle mikroenkapsülasyon teknolojileriyle zenginleştirilmiş, hacmi küçük ancak besin yoğunluğu yüksek öğün ikame ürünleri AO protokollerinde önemli bir destekleyici yaklaşım sunmaktadır (Ganesan vd., 2018). Ayrıca oruç dışındaki beslenme pencerelerinde tüketilen gıdaların lipid profili de metabolik yanıt üzerinde belirleyici olmaktadır. Doymuş yağ ve rafine karbonhidrat açısından zengin diyetlerin AO'nun iltihap önleyici etkilerini baskılayabildiği; buna karşılık omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) ve tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) bakımından zengin formülasyonların kardiyometabolik faydaları desteklediği bildirilmektedir (Santos & Macedo, 2018).

AO uygulamalarının bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri, fonksiyonel gıda geliştirme çalışmalarına yeni bir araştırma alanı kazandırmıştır. Açlık ve beslenme döngülerinin bağırsak mikrobiyal kompozisyonunu modüle ederek *Akkermansia muciniphila* ve *Lactobacillus* gibi faydalı bakterilerin çoğalmasını desteklediği, kısa zincirli yağ asidi sentezini artırdığı ve bağırsak bariyer bütünlüğünü güçlendirdiği gösterilmiştir (Selen & Küşümler Seylam, 2023). Bu nedenle prebiyotik lifler, dirençli nişasta fraksiyonları ve fermente edilebilir polisakkaritler içeren ürünlerin AO protokolleriyle birlikte kullanılması, metabolik etkinin güçlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle soya endüstrisinin yan ürünü olan okaradan elde edilen çözünmez diyet lifleri, hem sürdürülebilir gıda üretimine katkı sağlamakta hem de

bağırsakta tokluk hissini artırarak enerji alımının kontrolünü desteklemektedir (S. Wang vd., 2023). Benzer şekilde guar gam, pektin ve β -glukan gibi biyopolimer bazlı lif sistemleri, mide boşalma hızını yavaşlatarak tokluk indeksini yükseltmekte ve postprandiyal glisemik yanıtın kontrol altına alınmasına katkıda bulunmaktadır (Varady vd., 2021).

AO uygulamalarının geleceği, kişiselleştirilmiş beslenme teknolojileri ve dijital sağlık sistemleriyle entegrasyonuna dayanmaktadır. Özellikle egzersiz ile kombine edilen AO protokollerinde yağsız vücut kütesinin korunması amacıyla, kan glukozunda ani değişim oluşturmeyen elektrolit içecekleri ve kontrollü salım sağlayan mikroenkapsülenmiş esansiyel amino asit sistemleri geliştirilmektedir (Varady vd., 2022; Sariaçkal, 2024). Ayrıca yaşlanma biyolojisi araştırmalarında öne çıkan kalori kısıtlaması mimetikleri, hücrel stres yanıtlarını aktive ederek AO'nun metabolik etkilerini taklit etmeyi amaçlayan yeni nesil fonksiyonel bileşenler arasında değerlendirilmektedir (Hwangbo vd., 2020). Gıda mühendisliği alanında modifiye nişasta sistemleri, yavaş salınlı peptitler ve sirkadiyen ritimle uyumlu kontrollü sindirim kinetiğine sahip ürünlerin geliştirilmesi, AO uygulamalarının biyolojik etkinliğini artırabilecek önemli stratejiler arasında yer almaktadır.

Akdeniz diyeti

Akdeniz Diyeti (AD), yalnızca bir beslenme modeli değil; gıdanın sürdürülebilir üretimini, mevsimselliğini, geleneksel pişirme yöntemlerini ve sosyal paylaşımı kapsayan bütüncül bir yaşam biçimi olarak tanımlanmaktadır. Gıda mühendisliği perspektifinden değerlendirildiğinde AD; enerjisinin büyük kısmını kompleks karbonhidratlar, sızma zeytinyağından gelen tekli doymamış yağ asitleri ve bitkisel proteinlerden sağlayan, biyoaktif bileşenler bakımından zengin bir beslenme matrisi sunmaktadır. Bu diyet modelinin temel özelliği, besin öğelerinin izole bileşenler yerine sinerjik bir yapı içerisinde tüketilmesidir. Omega-6/omega-3 dengesi, oleik asit zenginliği, yüksek diyet lifi içeriği ve polifenollerin birlikte oluşturduğu bu biyokimyasal sinerji; endotel fonksiyonlarını desteklemekte, lipoperoksidasyonu azaltmakta ve antienflamatuvar ile antitrombotik etkiler göstermektedir (Donini vd., 2015; Petkoska vd., 2025).

Akdeniz mutfağında kullanılan geleneksel pişirme teknikleri, fitokimyasalların biyoyararlanımını artıran önemli proses uygulamalarıdır. Sebzelerin sızma zeytinyağı ile hafif sıcaklıkta pişirilmesi; domates ve havuç gibi gıdalarda bulunan likopen ve lutein gibi lipofilik karotenoidlerin misel yapısına katılımını kolaylaştırarak bağırsak emilimini artırmaktadır (Hoffman & Gerber, 2015). Benzer şekilde, etlerin polifenol bakımından zengin şarap, limon suyu veya baharatlarla marine edilmesi; yüksek sıcaklıkta oluşan heterosiklik aminler ve ileri glikasyon son ürünleri gibi bileşiklerin oluşumunu önemli ölçüde azaltabilmektedir (Hoffman & Gerber, 2015). Bu yaklaşım, geleneksel mutfak uygulamalarının aynı zamanda fonksiyonel bir mutfak mühendisliği stratejisi olduğunu göstermektedir.

Modern gıda teknolojileri, AD'nin fonksiyonel özelliklerini daha ileri düzeye taşımaktadır. Yenilebilir çiçekler, enginar, kapari ve zeytin gibi geleneksel Akdeniz ürünlerinde moleküler gastronomi teknikleri ve laktik asit bakterileri ile gerçekleştirilen fermantasyon uygulamaları; fitokimyasalların matriksten salınımını artırmakta ve ürünleri yeni nesil probiyotik taşıyıcı sistemlere dönüştürmektedir (Silva vd., 2023; Bavaro vd., 2024). Ayrıca nanoenkapsülasyon teknolojileri, omega-3 yağ asitleri ve polifenollerin sindirim sistemi boyunca stabilitesini koruyarak biyoyararlanımlarını artırabilmektedir ve bu teknoloji yapıları ambalaj sistemleri ise zeytinyağı ve kuruyemiş gibi oksidasyona duyarlı ürünlerin kalite kayıplarını azaltarak raf ömrü boyunca besinsel bütünlüğün korunmasına katkı sağlamaktadır (Petkoska vd., 2025).

Son yıllarda yapay zekâ ve veri temelli sistemlerin gelişmesiyle birlikte AD kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımlarıyla entegre edilmektedir. Yapay zekâ destekli dijital platformlar, bireylerin mikrobiyota profili, metabolik parametreleri ve yaşam tarzı verilerini analiz ederek kişiye özgü AD planları oluşturabilmektedir. Bunun yanında biyogüçlendirme uygulamaları ile domates ve pirinç gibi temel ürünlerin antosiyanin, vitamin ve mineral içerikleri artırılarak fonksiyonel özellikleri güçlendirilmektedir (Martin & Li, 2017).

Akdeniz diyeti aynı zamanda sürdürülebilir beslenme modelleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bitki temelli ve bölgesel üretimi önceleyen bu modelin, Batı tipi yüksek hayvansal protein içeren diyetlere kıyasla sera gazı emisyonlarını ve su tüketimini önemli ölçüde azaltabileceği bildirilmektedir (Berry, 2019; Petkoska & Trajkovska-

Broach, 2021). Bu doğrultuda gıda mühendisliği, baklagil ve yağlı tohum gibi düşük çevresel ayak izine sahip hammaddelerin kullanımını artırmaya, gıda kayıplarını azaltmaya ve minimal işlenmiş ürün teknolojilerini geliştirmeye odaklanmalıdır.

Ayurveda diyeti

Ayurveda diyeti, gıdayı yalnızca enerji sağlayan bir unsur olarak değil; organizmanın biyokimyasal, fizyolojik ve zihinsel dengesini düzenleyen terapötik bir araç olarak ele alan bütüncül bir beslenme yaklaşımıdır. Gıda mühendisliği ve klinik beslenme perspektifinden değerlendirildiğinde Ayurveda, günümüzde giderek önem kazanan kişiselleştirilmiş beslenme kavramının tarihsel ve sistematik bir prototipi olarak dikkat çekmektedir. Ayurveda'nın temelini oluşturan Prakriti yaklaşımı; bireylerin genetik, fenotipik ve metabolik farklılıklarını esas alarak besinlerin sindirim kapasitesi, metabolizma hızı ve fizyolojik yanıtları üzerindeki etkilerini açıklamaktadır (Bidhan vd., 2014; Gautam vd., 2025). Bu kapsamda bireylerin baskın fizyolojik özelliklerine göre farklı beslenme stratejileri önerilmektedir. Örneğin, Pitta tipi bireylerde serinletici ve düşük iritan özellikteki gıdalar tercih edilirken; Vata tipi bireylerde termojenik etkili, kolay sindirilebilir karbonhidrat kaynakları önerilmekte, Kapha tipi bireylerde ise hafif yapılı ve biyoaktif bileşenlerce zengin formülasyonlar ön plana çıkmaktadır (Bidhan vd., 2014).

Ayurveda'da gıda işleme süreçleri (Samskara), hammaddenin yalnızca fiziksel yapısını değil, aynı zamanda biyoyararlanımını, sindirim kinetiğini ve hücrel etkilerini değiştiren önemli mühendislik müdahaleleri olarak tanımlanmaktadır (Payyappallimana & Venkatasubramanian, 2016). Modern araştırmalar, buharla pişirme, kontrollü kaynatma ve fermantasyon gibi geleneksel işlemlerin besin öğelerinin biyolojik kullanılabilirliğini artırabildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık yoğun endüstriyel işleme maruz kalan ultra işlenmiş gıdalar, akrilamid, oksidatif lipid türevleri ve diğer reaktif toksik bileşikler oluşturarak hücrel enflamasyonu artırabilmektedir (Saini vd., 2025; Hernandez, 2026). Bu açıdan Ayurveda'nın minimal işleme odaklı yaklaşımı, günümüzde temiz etiket eğilimleriyle önemli ölçüde örtüşmektedir.

Ayurveda diyetlerinde yaygın olarak kullanılan zerdeçal, tarçın, çemen otu ve zencefil gibi bitki ve baharatlar; polifenoller, flavonoidler ve uçucu yağlar bakımından zengin olmaları nedeniyle fonksiyonel bileşen niteliği

taşımaktadır. Bu fitokimyasalların karbonhidrat sindirim enzimlerini modüle ederek glisemik yanıtı düşürdüğü, oksidatif stresi baskıladığı ve antienflamatuvar etki gösterdiği bildirilmektedir (Sharma & Prajapati, 2014). Ancak bu bileşiklerin çoğu ısıya duyarlı ve düşük biyoyararlanıma sahip olduğundan, modern gıda teknolojileri bu dezavantajları minimize etmeye yönelik yenilikçi çözümler geliştirmektedir. HPP, CP ve mikro/nanoenkapsülasyon sistemleri; biyoaktif bileşenlerin stabilitesini koruyarak kontrollü salınımını mümkün kılmakta ve fonksiyonel gıda formülasyonlarının etkinliğini artırmaktadır (Verma vd., 2024; Gautam vd., 2025). Özellikle biyoyumlu nano-taşıyıcı sistemler, aktif bileşenlerin mide ortamından korunarak hedef bölgede salınmasını sağlayabilmekte ve Ayurveda kökenli fonksiyonel ürünlerin standardizasyonuna katkıda bulunmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Özel diyetler; günümüzde yalnızca klinik bir zorunluluk veya basit bir gıda kısıtlama süreci olmaktan çıkarak, gıda matriksinin hücresel düzeyde yeniden tasarlandığı çok boyutlu bir beslenme mühendisliği alanına dönüşmüştür. Eliminasyon, metabolik ve yaşam tarzı odaklı beslenme modellerinin başarısı; eksilen bileşenlerin (örneğin glüten, laktoz veya hayvansal proteinler) yarattığı yapısal ve duyuşal boşlukların, ürünün sindirim kinetiğini ve immünojenik profilini bozmadan doldurulmasına bağlıdır. Bu noktada, bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkileyen geleneksel ultra işlenmiş ikame ürünlerin yerini; biyoaktif bileşenlerin mideden korunarak bağırsakta salınmasını sağlayan mikro ve nanoenkapsülasyon sistemleri, kişiselleştirilmiş doku inşasında kullanılan 3B gıda basımı teknolojileri ve hedeflenmiş mikrobiyota modülasyonu sağlayan hassas fermantasyon teknikleri almaktadır. Gelecekte özel diyetlerin sürdürülebilirliği, klinik bulguların yapay zekâ destekli kişiselleştirilmiş beslenme algoritmaları ve yeni nesil biyosensörler ile tam entegrasyonu sayesinde mümkün olacak; böylece beslenme mühendisliği hem bireysel sağlığın hem de fonksiyonel gıda sistemlerinin temel yapı taşı olmaya devam edecektir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, E., Lim, S., Lamptey, R., Webb, D. R., & Davies, M. J. (2022). Type 2 diabetes. *Lancet (London, England)*, 400(10365), 1803–1820. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01655-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01655-5)
- Alam, M.W., Kumar, J.V., Awad, M., Saravanan, P., Al-Sowayan, N.S., Rosaiah, P. and Nivetha, M.S. (2025), Emerging trends in food process engineering: integrating sensing technologies for health, sustainability, and consumer preferences. *Journal of Food Process Engineering*, 48, e70035. <https://doi.org/10.1111/jfpe.70035>
- Alharbi, A., & Al-sowayan, N. S. (2020). The effect of ketogenic-diet on health. *Food and Nutrition Sciences*, 11, 301–313. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.114022>
- Aljada, B., Zohni, A., & El-Matary, W. (2021). The gluten-free diet for celiac disease and beyond. *Nutrients*, 13(11), 3993. <https://doi.org/10.3390/nu13113993>
- Amorim, A., Laurindo, J. B., & Sobral, P. J. do A. (2022). On how people deal with industrialized and non-industrialized food: A theoretical analysis. *Frontiers in Nutrition*, 9, 948262. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.948262>
- Ardisa, K. A., Aji, W., Prabowo, E., & Rustad, S. (2022). Implementation of convolutional neural network method for detecting vegetables as recommendation for vegetarian food recipes. In *Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science* (pp. 83-88).
- Awuchi, C. G., Echeta, C. K., & Igwe, V. S. (2020). Diabetes and the nutrition and diets for its prevention and treatment: a systematic review and dietetic perspective diabetes and the nutrition and diets for its prevention and treatment. *Health Sciences Research*, 6(1), 5–19. <http://www.aascit.org/journal/hsr>
- Bal-Prylypko, L., Nikolaenko, M., Volkhov, T., Holembovska, N., Tyshchenko, L., Ivaniuta, A., Israelian, V., & Menchynska, A. (2023). The study of functional and technological properties of vegetarian ice cream. *Slovak Journal of Food Sciences*, 17, 110–121.
- Bavaro, A. R., Tarantini, A., Bruno, A., Logrieco, A. F., Gallo, A., Mita, G., Valerio, F., Bleve, G., & Cardinali, A. (2024). Functional foods in Mediterranean diet: exploring the functional features of vegetable case-studies obtained also by biotechnological approaches. *Aging Clinical and Experimental Research*, 36(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02860-1>
- Benítez, L. O., Castagnini, J. M., Añón, M. C., & Salgado, P. R. (2020). Development of oil-in-water emulsions based on rice bran oil and soybean meal as the basis of food products able to be included in ketogenic diets. *LWT-Food Science and Technology*, 118, 108809. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108809>
- Berry, E. M. (2019). Sustainable food systems and the Mediterranean diet. *Nutrients*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/nu11092229>
- Bertin, L., Zanconato, M., Crepaldi, M., Marasco, G., Cremon, C., Barbara, G., Barberio, B., Zingone, F., & Savarino, E. V. (2024). The role of the fodmap diet in IBS. *Nutrients*, 16(3), 1–24. <http://doi.org/10.3390/nu16030370>
- Bidhan, M., Rupashri, N., & Remadevi, R. (2014). A scientific review on dietetics in ayurveda according to prakriti (innate constitution). *International Ayurvedic Medical Journal*, 2(6).
- Bryl, A., Mrugacz, M., Falkowski, M., & Zorena, K. (2022). The effect of diet and lifestyle on the course of diabetic retinopathy—a review of the literature. *Nutrients*, 14(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nu14061252>
- Byresh, T. S., Malin, B., Meena, L., Sunil, C. K., Chidanand, D. V., Vidyalakshmi, R., & Venkatachalapathy, N. (2022). Effect of addition of pineapple peel powder on white finger millet vegan probiotic beverage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), (e16905), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16905>

- Caio, G., Lungaro, L., Segata, N., Guarino, M., Zoli, G., Volta, U., & Giorgio, R. De. (2020). Effect of gluten-free diet on gut microbiota composition in patients with celiac disease and non-celiac gluten/wheat sensitivity. *Nutrients*, 12(6), 1–23. <https://doi.org/10.3390/nu12061832>
- Casciano, F., Nissen, L., Gianotti, A., & Yebra, M. J. (2026). Engineering lactococci to reduce human lactose intolerance; biotechnology and risk/benefit assessment toward the gut microbiota of lactose-intolerants. *Food Research International*, 230(2026). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118579>
- Catanzaro, R., Sciuto, M., & Marotta, F. (2021). Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition research*. 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.02.003>
- Cheng, S., Xiao, W., Shi, F., Zhao, Z., Gao, X., Zhang, Y., Huang, H., Li, F., Cao, C., & Han, J. (2025). A bifunctional "two-in-one" array for simultaneous diagnosis of irritable bowel syndrome and identification of low-FODMAP diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(6), 3772–3784. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c08690>
- Choi, Y. J., & Jeon, S. (2020). Impact of a ketogenic diet on metabolic parameters in patients with obesity or overweight and with or without type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*, 12(7), 2005. <https://doi.org/10.3390/nu12072005>
- Churuangasuk, C., Hall, J., Reynolds, A., Griffin, S. J., Combet, E., & Lean, M. E. J. (2022). Diets for weight management in adults with type 2 diabetes: An umbrella review of published meta-analyses and systematic review of trials of diets for diabetes remission. *Diabetologia*, 65(1), 14–36. <https://doi.org/10.1007/s00125-021-05577-2>
- Corgneau, M., Scher, J., Le, D., Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., Gaiani, C., Scher, J., Le, D., Petit, J., & Nikolova, Y. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15). <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>
- Daniel, H. (2024). Dietary proteins: from evolution to engineering. *Nutrition*, 11, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1366174>
- Demirkesen, I., & Ozkaya, B. (2022). Recent strategies for tackling the problems in gluten-free diet and products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3), 571–597. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1823814>
- Dominici, S., Donati, N., Menabue, S., Di, M., Maria, S., Facioni, S., & Stefano, M. Di. (2025). The impact of lactose intolerance diagnosis: costs, timing, and quality of life. *Internal and Emergency Medicine*, 20(5), 1519–1527. <https://doi.org/10.1007/s11739-024-03787-1>
- Drabinska, N., Wiczowski, W., & Piskula, M. K. (2021). Recent advances in the application of a ketogenic diet for obesity management. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 28–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.080>
- Firman, S., Witard, O. C., Keefte, M. O., & Ramachandran, R. (2021). Dietary protein and protein substitute requirements in adults with phenylketonuria: A review of the clinical guidelines. *Clinical Nutrition*, 40(3), 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.003>
- Galali, Y., Zebari, S. M. S., Aj, A., Holem, J., Balaky, H., Sadee, B. A., & Hassanzadeh, H. (2024). The impact of ketogenic diet on some metabolic and non-metabolic diseases: Evidence from human and animal model experiments. *Food science & nutrition*, 12(3), 1444–1464. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3873>
- Gandhi, G. R., Hillary, V. E., Antony, P. J., Zhong, L. L. D., Yogesh, D., Krishnakumar, N. M., Ceasar, S. A., & Gan, R. Y. (2024). A systematic review on anti-diabetic plant essential oil compounds: Dietary sources, effects, molecular mechanisms, and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(19), 6526–6545. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2170320>

- Ganesan, K., Habboush, Y., & Sultan, S. (2018). Intermittent Fasting: The Choice for a Healthier Lifestyle. *Cureus*, 10(7), e2947. <https://doi.org/10.7759/cureus.2947>
- Gasparre, N., Pasqualone, A., & Mefleh, M. (2022). Nutritional quality of gluten-free bakery products labeled ketogenic and/or low-carb sold in the global market. *Foods*, 11(24), 4095. <https://doi.org/10.3390/foods11244095>
- Gautam, S. K., Srivastava, A., Urmaliya, N., & Hardeniya, P. (2025). Ayurveda Dietetics and Food Technology: Modern Correlations. *International Journal of Contemporary Research in Multidisciplinary*, 4(4), 127–133.
- Goldberg, I. J., Ibrahim, N., Bredefeld, C., Foo, S., Lim, V., Gutman, D., Huggins, L., & Hegele, R. A. (2021). Ketogenic diets, not for everyone. *Journal of Clinical Lipidology*, 15(1), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2020.10.005>
- Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., Sato, J., Yamada, S., Jönsson, T., Beardsley, J., Johnson, J. A., Thabane, L., & Johnston, B. C. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4743>
- Gong, D., & Lai, W. F. (2025). Dietary patterns and type 2 diabetes: A narrative review. *Nutrition*, 140, 112905. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2025.112905>
- Goyal, N., Thakur, R., & Yadav, B. K. (2024). Physical approaches for modification of vegan protein sources: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 17(12), 4405–4428. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03368-2>
- Guo, Z., Pan, J., Zhu, H., & Chen, Z. Y. (2022). Metabolites of gut microbiota and possible implication in development of diabetes mellitus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(20), 5945–5960. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07851>
- Hargreaves, S. M., Rosenfeld, D. L., Moreira, A. V. B., & Zandonadi, R. P. (2023). Plant - based and vegetarian diets: an overview and definition of these dietary patterns. *European Journal of Nutrition*, 62(3), 1109–1121. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03086-z>
- Harlan, T. S., Gow, R. V., Kornstädt, A., & Perez-burillo, S. (2023). The Metabolic Matrix: Re-engineering ultraprocessed foods to feed the gut, protect the liver, and support the brain. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1098453. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1098453>
- Hernandez, M. Ayurvedic (Ancient Indian Medicine) dietetics and modern nutritional science: A comparative analysis of Ahara Vidhi. *J. Ayurvedic Maulik Siddhant* 3(1), 37–41.
- Hoffman, R., & Gerber, M. (2015). Food processing and the mediterranean diet. *Nutrients*, 7(9), 7925–7964. <https://doi.org/10.3390/nu7095371>
- Hooda, A., Nikam, P., Tripathi, A.D., & Bharadwaj, A. (2025). Effect of Processing Parameters on Lactose Hydrolysis. In: Rao, P.S., Sharma, H., Arora, S., Naik N., L. (eds) *Lactose Hydrolysis in Dairy Products*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78207-7_5
- Hwangbo, D.-S., Lee, H.-Y., Abozaid, L. S., & Min, K.-J. (2020). Mechanisms of lifespan regulation by calorie restriction and intermittent fasting in model organisms. *Nutrients*, 12(1194), 1–24.
- Iizuka, K., & Yabe, D. (2023). Dietary and nutritional guidelines for people with diabetes. *Nutrients*, 15(20), 2–5. <https://doi.org/10.3390/nu15204314>
- Ispiryan, L., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2022). FODMAP modulation as a dietary therapy for IBS: Scientific and market perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1491–1516. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12903>
- Jung, D. H., Nam, G. M., Lee, C. K., Lim, H., Lee, J. Y., Lim, H., & Kim, C. (2025). Changes in nutritional status through low-lactose processed milk consumption in korean adults with lactose intolerance. *Clinical Nutrition Research*. 14(1), 30–40. <https://doi.org/10.7762/cnr.2025.14.1.30>

- Kalantar-Zadeh, K., Joshi, S., Schlueter, R., Cooke, J., Brown-Tortorici, A., Donnelly, M., Schulman, S., Lau, W. L., Rhee, C. M., Streja, E., Tantisattamo, E., Ferrey, A. J., Hanna, R., Chen, J. L. T., Malik, S., Nguyen, D. V., Crowley, S. T., & Kovesdy, C. P. (2020). Plant-dominant low-protein diet for conservative management of chronic kidney disease. *Nutrients*, 12(7), 1–24. <https://doi.org/10.3390/nu12071931>
- Karadag, A., Kayacan, S., Rusen, C., Yildirim, M., Karasu, S., Avci, E., Ozer, H., & Sagdic, O. (2022). Enrichment of lecithin with phenolics from olive mill wastewater by cloud point extraction and its application in vegan salad dressing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16645. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16645>
- Karimidastjerd, A., Emine, Z. G., & Toker, O. S. (2024). Evaluation of rheological, textural, and sensory characteristics of optimized vegan rice puddings prepared by various plant-based milks. *Food Science & Nutrition*, 12(3), 1779–1791. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3872>
- Keskin, F. N., Teslime, Ö. Ş., Capasso, R., & Duygu, A. (2023). Protein substitutions as new-generation pharmanutrition approach to managing phenylketonuria. *Clinical and Experimental Pediatrics*, 66(8), 320–331.
- Kidd, M. T., Maynard, C. W., & Mullenix, G. J. (2021). Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(45), 1–9.
- Ko, G., & Kalantar-Zadeh, K. (2021). How important is dietary management in chronic kidney disease progression? A role for low protein diets. *The Korean Journal of Internal Medicine*, 36(4), 795–806.
- Koch, C. A., Kjeldsen, E. W., & Frikke-schmidt, R. (2023). Vegetarian or vegan diets and blood lipids: a meta-analysis of randomized trials. *European Heart Journal*, 44(28), 2609–2624. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad211>
- Kotchetkoff, E. C. de A., de Oliveira, L. C. L., & Sarni, R. O. S. (2024). Elimination diet in food allergy: Friend or foe?. *Journal de Pediatria*, 100 Suppl 1, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2023.09.012>
- Lanen, A. S. Van, Bree, A. De, & Greyling, A. (2021). Efficacy of a low - FODMAP diet in adult irritable bowel syndrome : a systematic review and meta - analysis. *European Journal of Nutrition*, 60(6), 3505–3522. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02473-0>
- Lanzola, G., Pellegrino, F., Ferraris, C., & Quaglini, S. (2020). A novel algorithm for the design of ketogenic meals. *IEEE 20th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, Palermo, Italy, 2020, pp. 358–363. <https://doi.org/10.1109/MELECON48756.2020.9140519>
- Leone, A., Amicis, R. De, Lessa, C., Tagliabue, A., Trentani, C., Ferraris, C., Battezzati, A., Veggiotti, P., Foppiani, A., Ravella, S., & Bertoli, S. (2019). Food and food products on the italian market for ketogenic dietary treatment of neurological diseases. *Nutrients*, 11(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/nu11051104>
- Leone, L., Mazzocchi, A., Maffei, L., De Cosmi, V., & Agostoni, C. (2023). Nutritional management of food allergies: Prevention and treatment. *Frontiers in Allergy*, 3, 1083669. <https://doi.org/10.3389/falgy.2022.1083669>
- Leung, B., Lauche, R., Leach, M., Zhang, Y., Cramer, H., & Sibbritt, D. (2018). Special diets in modern America: Analysis of the 2012 National Health Interview Survey data. *Nutrition and health*, 24(1), 11–18. <https://doi.org/10.1177/0260106017732719>
- Li, A., Zheng, J., Han, X., Yang, S., Cheng, S., Zhao, J., Zhou, W., & Lu, Y. (2023). Advances in low-lactose/lactose-free dairy products and their production. *Foods*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/foods12132553>
- Lin, Q., Tu, X., Li, X., Gou, F., Gao, H., Lu, Z., Feng, J., Ying, Y., & Hu, C. (2024). Effects of low protein diets on acid-base balance, electrolyte balance, intestinal structure, and amino acid transport in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 108(4), 1107–1118. <https://doi.org/10.1111/jpn.13954>

- Liu, S., Xie, J., Fan, Z., Ma, X., & Yin, Y. (2023). Effects of low protein diet with a balanced amino acid pattern on growth performance, meat quality and cecal microflora of finishing pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 957–967. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12245>
- Liu, T., Liu, Y., Yan, T., Zhang, B., Zhou, L., Zhu, W., Wang, G., Kang, J., Peng, W., & Shi, L. (2024). Intermittent fasting, exercise, and dietary modification induce unique transcriptomic signatures of multiple tissues governing metabolic homeostasis during weight loss and rebound weight gain. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 130, 109649. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2024.109649>
- Lomer, M. C. E. (2024). The low FODMAP diet in clinical practice: where are we and what are the long-term considerations? *Proceedings of the Nutrition Society*, 83(1), 17–27. <https://doi.org/10.1017/S0029665123003579>
- Donini, L. M., Serra-Majem, L., Bulló, M., Gil, Á., & Salas-Salvadó, J. (2015). The Mediterranean diet: culture, health and science. *The British journal of nutrition*, 113 Suppl 2, S1–S3. <https://doi.org/10.1017/S0007114515001087>
- Lukito, W., Malik, S. G., Surono, I. S., & Wahlqvist, M. L. (2015). From 'lactose intolerance' to 'lactose nutrition'. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 24 Suppl 1, S1–S8. <https://doi.org/10.6133/apjcn.2015.24.s1.01>
- Madison, J. M., Bhardwaj, V., & Braskett, M. (2020). Strategy for food reintroduction following empiric elimination and elemental dietary therapy in the treatment of eosinophilic gastrointestinal disorders. *Current Gastroenterology Reports*, 22(5), 10–13. <https://doi.org/10.1007/s11894-020-00758-2>
- Martin, C., & Li, J. (2017). Medicine is not health care, food is health care: plant metabolic engineering, diet and human health. *New Phytologist*, 216(3), 699–719. <https://doi.org/10.1111/NPH.14730>
- Mattson, M. P., Longo, V. D., & Harvie, M. (2017). Impact of intermittent fasting on health and disease processes. *Ageing Research Reviews*, 39, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.10.005>
- Mishra, A., Sobha, D., Patel, D., & Suresh, P. S. (2024). Intermittent fasting in health and disease. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 130(6), 755–767. <https://doi.org/10.1080/13813455.2023.2268301>
- Nie, Q., Hu, J., Gao, H., Li, M., Sun, Y., Chen, H., Zuo, S., Fang, Q., Huang, X., Yin, J., & Nie, S. (2021). Bioactive dietary fibers selectively promote gut microbiota to exert antidiabetic effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(25), 7000–7015. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01465>
- Ordovas, J. M., Ferguson, L. R., Tai, E. S., & Mathers, J. C. (2018). Personalised nutrition and health. *BMJ (Clinical research ed.)*, 361, bmj.k2173. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2173>
- Paoli, A., Cenci, L., & Grimaldi, K. A. (2011). Effect of ketogenic Mediterranean diet with phytoextracts and low carbohydrates/high-protein meals on weight, cardiovascular risk factors, body composition and diet compliance in Italian council employees. *Nutrition journal*, 10, 112. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-112>
- Payyappallimana, U., & Venkatasubramanian, P. (2016). Exploring ayurvedic knowledge on food and health for providing innovative solutions to contemporary healthcare. *Frontiers in Public Health*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00057>
- Petkoska, A. T., & Trajkovska-Broach, A. (2021). Sustainable food systems and healthy diets: the case of mediterranean diet. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 24(2), 110–118. <https://doi.org/10.2478/ahr-2021-0032>
- Petkoska, A. T., Ogenoska, V., & Trajkovska Broach, A. (2025). Mediterranean diet: from ancient traditions to modern science-a sustainable way towards better health, wellness,

- longevity, and personalized nutrition. *Sustainability*, 17(9), 4187. <https://doi.org/10.3390/su17094187>
- Pop, A., Popa, S. L., Pop, D. D., Ismaiel, A., Nechita, V. I., & Dumitrascu, D. L. (2025). Self-perceived lactose intolerance versus confirmed lactose intolerance in irritable bowel syndrome: a systematic review. *Journal of Gastrointestinal and Liver Diseases*, 34(1), 90–97. <https://doi.org/10.15403/jgld-5836>
- Rachwał, A. K., Wielgus, K., Bator, P., Razik, W., Łyko, G., Antos, M., Furgalska, J., Pawłowska, M., & Wawryszuk, A. (2024). Lactase deficiency and lactose intolerance: current understanding and future directions. *Journal of Education, Health and Sport. Online*. 1–12.
- Rana, A., Kumra, N., Anupama, T., Tejpal, S., Vikram, D., & Ankur, K. (2025). Synergistic fermentation of vitamin B2 (riboflavin) bio-enriched soy milk : Optimization and techno - functional characterization of next generation functional vegan foods. *Discover Food*, 5(10). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00269-x>
- Reed, C. C., Fan, C., Koutlas, N. T., Shaheen, N. J., & Dellon, E. S. (2017). Food elimination diets are effective for long-term treatment of adults with eosinophilic oesophagitis. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 46(9), 836–844. <https://doi.org/10.1111/apt.14290>
- Rekowska, M., & Czerwionka-Szaflarska, M. (2018). Elimination diets - Necessity or individual choice? *Pediatrica Polska*, 93(6), 472–478. <https://doi.org/10.5114/polp.2018.82656>
- Rostanzo, E., Marchetti, M., & Casini, I. (2021). Very-low-calorie ketogenic diet: a potential treatment for binge eating and food addiction symptoms in women. A pilot study. *International journal of environmental research and public health*, 18(23), 12802. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312802>
- Sabença, C., Ribeiro, M., de Sousa, T., Poeta, P., Bagulho, A. S., & Igrejas, G. (2021). Wheat/gluten-related disorders and gluten-free diet misconceptions: A review. *Foods*, 10(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/foods10081765>
- Saini, A., Kadu, A., Dholariya, M., and Jajoria, R. (2025). A holistic perspective on nutrition: an integrated review of ayurvedic and modern dietary science,” *International Journal of Multidisciplinary Research*, 7(5). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i05.56190>
- Salvo, E. Di, & Cicero, N. (2025). Could lactose-free foods influence the gut microbiome? *Natural Product Research*, 39(6), 1755–1756. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2325584>
- Santos, H. O., & Macedo, R. C. O. (2018). Impact of intermittent fasting on the lipid profile: Assessment associated with diet and weight loss. *Clinical nutrition ESPEN*, 24, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2018.01.002>
- Sarıakçal, B. (2024). Düzenli yürüyüş yapma ve aralıklı orucun insülin direnci ve kan lipid profili üzerindeki etkisi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 15(3), 405–415.
- Saturni, L., Ferretti, G., & Bacchetti, T. (2010). The gluten-free diet: Safety and nutritional quality. *Nutrients*, 2(1), 16–34. <https://doi.org/10.3390/nu2010016>
- Savoldi, T. E., Scheufele, F. B., Drunkler, D. A., da Silva, G. J., de Lima, J. D., Maestre, K. L., Triques, C. C., da Silva, E. A., Fiorese, M. L. (2022). Microencapsulation of *Saccharomyces boulardii* using vegan and vegetarian wall materials. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16596. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16596>
- Schillaci, E., Capellas, M., & Rigola, J. (2022). Numerical modeling and experimental validation of meat burgers and vegetarian patties cooking process with an innovative IR laser system. *Journal of food process engineering*, 45(9), e14097. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14097>
- Schmidt, M., & Raczky, M. (2024). FODMAP reduction strategies for nutritionally valuable baking products: current state and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(22), 8036–8053. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2195026>

- Schmucker, C., Eisele-Metzger, A., Meerpohl, J., Lehane, C., Kuellenberg de Gaudry, D., Lohner, S., & Schwingshackl, L. (2022). Effects of a gluten-reduced or gluten-free diet for the primary prevention of cardiovascular disease. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 45(1), 25–44. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2017.11.003>
- Scholtens, E. (2019). The Intake and Composition of Intermittent Fasting, the 5:2 Method. Doktora Tezi. Yeni Zelanda: University of Otago.
- Selen, H., & Küşümler Seylam, A. (2023). Aralıklı orucun bağırsak mikrobiyotası üzerine etkisi. *Food and Health*, 9(1), 87–97.
- Sharma, R., & Prajapati, P. K. (2014). Diet and lifestyle guidelines for diabetes: evidence based Ayurvedic perspective. *Romanian Journal of Diabetes, Nutrition and Metabolic Diseases*, 21(4), 335–346. <https://doi.org/10.2478/rjdnmd-2014-0041>
- Silva, V., Quintas, C., Ratão, I., & Nunes, P. (2023). Exploring spherification with some foods of the Mediterranean Diet. *Chemical Engineering Transactions*, 102, 271–276. <https://doi.org/10.3303/CET23102046>
- Simón, E., Molero-Luis, M., Fueyo-Díaz, R., Costas-Batlle, C., Crespo-Escobar, P., & Montoro-Hugué, M. A. (2023). The gluten-free diet for celiac disease: critical insights to better understand clinical outcomes. *Nutrients*, 15(18), 1–25. <https://doi.org/10.3390/nu15184013>
- Smutkeeree, A., Rattanapakdeekul, N., Lapirattanakul, J., Tosrisawatkasem, O., & Surarit, R. (2025). Cariogenic potential of lactose-free infant formulas: an in vitro analysis of streptococcus mutans biofilm and acidogenicity. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 15(3), 265–274. https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_3_25
- So, D., Loughman, A., & Staudacher, H. M. (2022). Effects of a low FODMAP diet on the colonic microbiome in irritable bowel syndrome: a systematic review with meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 116(4), 943–952. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac176>
- Sun, C., Zhao, C., Guven, E. C., Paoli, P., Simal-Gandara, J., Ramkumar, K. M., Wang, S., Buleu, F., Pah, A., Turi, V., Damian, G., Dragan, S., Tomas, M., Khan, W., Wang, M., Delmas, D., Portillo, M. P., Dar, P., Chen, L., & Xiao, J. (2020). Dietary polyphenols as antidiabetic agents: Advances and opportunities. *Food Frontiers*, 1(1), 18–44. <https://doi.org/10.1002/fft2.15>
- Suneer, M., Thabshira, P., Mohan, M., Kumar, N., Akhtar, S., & Rasheed, P. A. (2026). Understanding the physiology of lactose intolerance and an insight on the recent trends on management strategies. *International Dairy Journal*, 178, 106633. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2026.106633>
- Varady, K. A., Cienfuegos, S., Ezpeleta, M., & Gabel, K. (2021). Cardiometabolic benefits of intermittent fasting. *Annual Review of Nutrition*, 41, 333–361.
- Varady, K. A., Cienfuegos, S., Ezpeleta, M., & Gabel, K. (2022). Clinical application of intermittent fasting for weight loss: progress and future directions. *Nature Reviews Endocrinology*, 18, 309–321. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00638-x>
- Verma, S. K., Pandey, M., Sharma, A., & Singh, D. (2024). Exploring Ayurveda: principles and their application in modern medicine. *Bulletin of the National Research Centre*, 48(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01231-0>
- Vignesh, K., Yadav, D. K., Wadikar, D. D., & Semwal, A. D. (2024). Exploring sustenance: cereal legume combinations for vegan meat development. *Sustainable Food Technology*, 2(32), 32–47. <https://doi.org/10.1039/d3fb00074e>
- Wang, Y., Zhou, J., Wang, G., Cai, S., Zeng, X., & Qiao, S. (2018). Advances in low-protein diets for swine. *Journal of animal science and biotechnology*, 9(60). <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0276-7>

- Wang, S., Wang, J., Zhang, J., Liu, W., Jing, W., Lyu, B., & Yu, H. (2023). Insoluble dietary fiber from okara combined with intermittent fasting treatment synergistically confers antiobesity effects by regulating gut microbiota and its metabolites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(36), 13346–13362. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c03948>
- Wang, T., Masedunskas, A., Willett, W. C., & Fontana, L. (2023). Vegetarian and vegan diets: benefits and drawbacks. *European Heart Journal*, 44(36), 3423–3439. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad436>
- Wonderen, D. Van, Melse-boonstra, A., & Gerdessen, J. C. (2023). Iron bioavailability should be considered when modeling omnivorous, vegetarian, and vegan diets. *The Journal of Nutrition*, 153(7), 2125–2132. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.05.011>
- Wu, W., Qiu, J., Wang, A., & Li, Z. (2020). Impact of whole cereals and processing on type 2 diabetes mellitus: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9), 1447–1474. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1574708>
- Zalewski, A., Doerfler, B., Krause, A., Hirano, I., & Gonsalves, N. (2022). Long-term outcomes of the six-food elimination diet and food reintroduction in a large cohort of adults with eosinophilic esophagitis. *American Journal of Gastroenterology*, 117(12), 1963–1970. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000001949>
- Zandonadi, R. P., & Romão, B. (2026). Gluten-free diet in the context of food and nutrition security, food safety, and sustainability. *Nutrition Reviews*, 84(4), 839–850. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaf069>
- Zheng, X., Guo, Z., Zhang, J., Cheng, T., Yang, H., Zhang, W., & Zhou, L. (2024). High-pressure homogenization to improve the stability of liquid diabetes formula food for special medical purposes: Structural characteristics of casein–polysaccharide complexes. *Food Chemistry: X*, 23, 101695. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101695>

ÖZEL BESLENME TÜRLERİNİN PSİKOLOJİYE ETKİSİ

Çınar Demir Akyıldız*, Sümeyra Başar**

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlık tanımı “kişinin bedensel, ruhsal ve sosyal yönden bütüncül iyilik halinde olması” şeklindedir. Bu tanıma göre kişilerin psikolojik durumu, genel sağlık durumunun belirleyici temel faktörlerinden birini oluşturmaktadır. WHO, psikolojik sağlığı “kişilerin yeteneklerinin farkında olabildikleri, stres ile baş edebildikleri, üretken ve verimli çalışabildikleri ve bulundukları topluma katkıda bulunabildikleri zihinsel iyilik hali” olarak tanımlamaktadır (World Health Organization [WHO], 2022).

Bilişsel işlevlerde, duygudurumunun düzenlenmesinde veya davranışlarda klinik düzeyde önemli değişikliklerle karakterize edilen ruhsal bozukluklar, WHO tarafından küresel ölçekte önemli bir sorun olarak değerlendirilmektedir (Chisholm vd., 2016). World Mental Health Survey (WMHS) sonuçlarına göre, 2016 yılı raporunda 17 ülkenin ruh sağlığı durumu incelendiğinde, ruhsal bozukluk görülme oranlarının %6 ila %27 arasında değiştiği belirlenmiştir (Chisholm vd., 2016). Ülkemizde yapılan Türkiye ruh sağlığı profili çalışmalarında ruhsal bozukluk oranı %17,2 olarak saptanmıştır. Dünyada ruhsal bozukluklar içerisinde en yaygın olanların anksiyete ve depresyon olduğu 2019 verilerinde yer almakta ve COVID-19 salgını ile bu oranın arttığı ifade edilmektedir (Kılıç, 2020).

Psikolojik hastalıklar grubunda yer alan majör depresyon, anksiyete bozukluğu, bipolar bozukluk türleri, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu, obsesif kompulsif bozukluk (OKB) gibi duygu durum bozukluklarının tamamının 21 yıl önce yapılan çalışmalara göre artış gösterdiği ve kadınlarda erkeklere göre 2,5 kat daha fazla görüldüğü ifade edilmektedir. Genel olarak her 6 kişiden birinde ruhsal hastalık bulunduğu

* Uzman, Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, cinardemir@hotmail.com, ORCID: orcid.org/0009-0001-1353-2255

** Öğr. Gör. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Artvin, sumeyraakalin@artvin.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0001-5002-5255

Türkiye Ruh Sağlığı Profili (TRSP) raporunda belirtilmektedir (Sağlık Bakanlığı, 2023).

Otoimmün hastalık insidansının gün geçtikçe arttığı ve bu kişilerde psikolojik hastalık riskinin sağlıklı bireylere göre daha yüksek olduğu, psikiyatrik bozukluk patogenezinde otoimmün mekanizmaların bilinenden daha fazla sorumlu olduğu, otoimmün hastalıklardan özellikle çölyak hastalığının şizofreni riskini artırdığı ifade edilmektedir (Porcelli vd., 2014).

2030 yılına kadar depresyonun dünyada yaygın kronik hastalıklar olan hipertansiyon, kanser ve kardiyovasküler hastalıkların yerini alabileceği WHO tarafından belirtilmektedir (WHO, 2022). WMHS sonuçlarında, psikolojik bozukluklara bağlı ortaya çıkan hastalık yükünün küresel boyutta bir toplum sağlığı problemi olduğu ve WHO'ya göre multidisipliner bir yaklaşım gerekliliği ifade edilmektedir (Chisholm vd., 2016). Genetik, beyin yapısı, beyin kimyasalları olarak bilinen nörotransmitterler, travmalar, stres, kültürel faktörler, ekonomik parametreler psikolojik sağlığı etkileyen etmenler arasındadır ve tedavi yaklaşımı olarak yaşam tarzı değişikliği müdahalesini destekleyen yayınlar bulunmaktadır (Casacalenda vd., 2002; Jorm vd., 2017).

Kanıtı dayalı geniş çerçeveli, tutarlı ve bilimsel temelleri esas alan yeni bir araştırma alanını teşvik amaçlı, Uluslararası Beslenme Psikiyatrisi Derneği tarafından 2013 yılında “Beslenme Psikiyatrisi” terimi kullanılmaya başlanmıştır (Sarris vd., 2015). “Beslenme Psikiyatrisi” genelde tüketilen besinlerin sadece fizyolojik sisteme ve fiziksel görüntüye değil; aynı zamanda ruh haline etki ettiği ve nöropsikiyatrik bozuklukların önlenmesi ve tedavi sürecinde kritik bir öneme sahip olduğunu destekleyen bir araştırma alanıdır (Martins vd., 2012; Fatme, 2020).

Duyusal algı ve besin seçimi

Besin seçimi, bireyin yalnızca enerji ve besin ögesi gereksinimleri doğrultusunda gerçekleştirdiği fizyolojik bir davranış olmayıp; besinin duyusal özellikleri, önceki deneyimler, öğrenilmiş tercihler, kültürel çevre, duygusal durum ve bilişsel beklentilerin karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir süreçtir (Sørensen vd., 2003; Boesveldt & de Graaf, 2017). Duyusal algı, çevreden gelen fiziksel ve kimyasal uyaranların duyu organları tarafından alınması, sinirsel sinyallere dönüştürülmesi ve merkezi sinir sisteminde yorumlanması sürecini ifade

etmektedir. Besin tüketimi bağlamında bu süreç; tat, koku, görme, dokunma, işitme, sıcaklık ve kimyasal somatik duyuların bütünleşmesini içermektedir (Auvray & Spence, 2008). Bu nedenle bir besinin lezzeti, yalnızca dil üzerindeki tat reseptörlerinin uyarılmasıyla değil, birden fazla duysal kanaldan gelen bilgilerin eş zamanlı biçimde bütünleştirilmesiyle oluşmaktadır (Y. Chen vd., 2023).

Besinlerin duysal özellikleri, tüketim öncesinde besine yönelmeyi veya besinden kaçınmayı sağlayan önemli işaretler sunmaktadır (Sørensen vd., 2003). Görünüm ve koku gibi tüketim öncesi algılanan uyaranlar, besinin olası tadı, enerji içeriği, tazeliği ve güvenliği hakkında beklenti oluştururken, tat, retronazal koku, doku ve sıcaklık gibi tüketim sırasında algılanan uyaranlar besinin kabul edilmesi, tüketimin sürdürülmesi ve sonlandırılması üzerinde etkili olmaktadır (Boesveldt & de Graaf, 2017). Duysal açıdan hoş giden bir besin, fizyolojik açlığın bulunmadığı koşullarda dahi yeme isteğini artırabilirken; hoş olmayan koku, tat veya doku özellikleri yeterli açlık varlığında bile besinin reddedilmesine yol açabilmektedir (Wang vd., 2019). Dolayısıyla duysal haz, iştah ve besin alımı arasında güçlü ancak bireyin fizyolojik ve psikolojik durumuna göre değişebilen bir ilişki bulunmaktadır (Sørensen vd., 2003; Boesveldt & de Graaf, 2017).

Tat sistemi, besinlerin kimyasal bileşimi hakkında bilgi sağlayarak besleyici maddelerin alınmasına ve potansiyel olarak zararlı maddelerden kaçınılmasına katkıda bulunmaktadır. Tatlı, tuzlu, ekşi, acı ve umami temel tat nitelikleri olarak kabul edilmekte; tatlı tat çoğunlukla enerji ve karbonhidrat içeriğiyle, umami protein ve amino asitlerle, tuzlu tat mineral içeriğiyle ilişkilendirilmektedir. Yoğun acı ve ekşi tatlar ise bazı durumlarda toksisite veya bozulmaya karşı uyarıcı bir işlev görebilmektedir (Diepeveen vd., 2022). Tat tercihleri kısmen doğuştan gelen eğilimlere dayanmaktadır. Bebeklik döneminde tatlı tada yönelik belirgin bir tercih bulunurken, yoğun acı ve ekşi tatlara karşı kaçınma davranışı görülebilmektedir. Bununla birlikte bu eğilimler değişmez değildir; tekrarlayan maruziyet, sosyal öğrenme ve olumlu beslenme deneyimleri sonucunda başlangıçta daha az kabul edilen besinlere yönelik beğeni gelişebilmektedir (Forestell, 2017).

Koku duyusu, besinlerin tanınmasında ve lezzet algısının oluşmasında önemli bir role sahiptir. Besin tüketilmeden önce burun yoluyla algılanan kokular ortonazal; çiğneme ve yutma sırasında ağız boşluğundan buruna

ulaşan uçucu bileşikler ise retronazal koku olarak adlandırılmaktadır. Ortonazal koku besine yönelik beklentiyi ve yaklaşma davranışını etkilerken, retronazal koku tüketim sırasında algılanan lezzetin temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır (Boesveldt & de Graaf, 2017). Günlük dilde tat olarak ifade edilen birçok deneyim, aslında tat ve kokunun birlikte değerlendirilmesiyle oluşan lezzet algısını yansıtmaktadır. Bu nedenle burun tıkanıklığı gibi durumlarda besinlerin daha az lezzetli algılanması, tat duyusunun kaybindan çok koku bileşiklerinin olfaktör sisteme ulaşmasının sınırlandırılmasıyla açıklanmaktadır (Auvray & Spence, 2008). Besin kokuları yalnızca lezzeti değil, iştahı ve belirli besinlere yönelik isteği de etkileyebilmektedir. Tatlı bir besinin kokusu tatlı yiyeceklerle, tuzlu bir besinin kokusu ise tuzlu yiyeceklerle yönelik isteği artırabilmektedir. Bununla birlikte kokuların tüketim üzerindeki etkisi bireyin açlık durumu, geçmiş deneyimleri ve kokunun yoğunluğuna göre değişebilmektedir (Boesveldt & de Graaf, 2017). Kokuların bellek ve duygularla güçlü biçimde ilişkili olması, çocukluk anıları veya kültürel deneyimlerle eşleşen besinlerin daha çekici algılanmasına yol açabilirken, bulantı veya hastalıkla eşleşen kokular uzun süreli besin kaçınmasına neden olabilmektedir (Wang vd., 2019).

Doku ve ağız hissi de besin kabulünün önemli belirleyicilerindendir. Doku, sertlik, yumuşaklık, gevreklik, viskozite ve pürüzlülük gibi fiziksel özellikleri kapsarken, ağız hissi sıcaklık, yağlılık, kuruluk, burukluk ve yanma gibi duyuları da içermektedir. Besinin çiğnenmesi, tükürükle karışması ve parçalanması, tat ve aroma bileşiklerinin açığa çıkma hızını etkilemektedir. Bu nedenle aynı bileşime sahip besinler farklı doku özellikleri gösterdiğinde farklı tat yoğunluğunda algılanabilmektedir (Liu vd., 2017). Doku tercihleri erken yaşam döneminde gelişmeye başlamaktadır. Bebeklerin gelişim düzeyine uygun farklı dokularla zamanında karşılaşması, çiğneme becerilerini ve besin çeşitliliğini desteklemektedir. Buna karşılık uzun süre yalnızca pürüzsüz ve tekdüze besinlerin tüketilmesi, ilerleyen dönemde parçacıklı veya lifli besinlerin kabulünü güçleştirebilmektedir. Duyusal farklılıkları bulunan bireylerde ise belirli tat, koku, sıcaklık ve dokulara karşı aşırı duyarlılık, seçici yeme davranışı ve sınırlı besin çeşitliliğiyle ilişkili olabilmektedir (Forestell, 2017).

Besin tüketimi çoğu zaman ilk lokmadan önce görsel değerlendirmeye başlamaktadır. Besinin rengi, biçimi, porsiyon büyüklüğü, sunumu ve

ambalajı, tazelik, tat yoğunluğu ve enerji içeriğine ilişkin beklentiler oluşturmaktadır. Görsel beklenti ile gerçek duyuşsal deneyimin uyumlu olması besin kabulünü artırırken, beklenen ve algılanan özellikler arasındaki uyumsuzluk beğeniyi azaltabilmektedir. Renk, tat beklentisinin oluşmasında özellikle güçlü bir görsel uyarandır. Kırmızı ve pembe tonları sıklıkla tatlılıkla, yeşil tonları ekşilik veya tazelik, koyu renkler ise yoğunluk ya da acılıkla ilişkilendirilebilmektedir. Bununla birlikte bu eşleşmeler kültür ve geçmiş deneyimlere göre değişebilmektedir (Wang vd., 2019). İşitsel özellikler de özellikle gevrek ve çıtır besinlerin tazelik ve kalite değerlendirmesinde rol oynamaktadır. Isırma ve çiğneme sırasında oluşan sesler, ambalaj sesleri ve yemek yenilen ortamın müziği tüketim deneyimini etkileyebilmektedir (Velasco vd., 2018).

Sonuç olarak duyuşsal algı, besin seçimini belirleyen temel mekanizmalardan biridir. Tat, koku, doku, görünüm ve ses birlikte çalışarak besinin tanınmasını, güvenliğinin değerlendirilmesini, haz değerinin belirlenmesini ve tüketim kararının oluşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte duyuşsal yanıtlar; genetik özellikler, yaş, erken yaşam deneyimleri, kültür, bellek, duygu durumu ve tüketim ortamına göre değişmektedir. Bu nedenle besin seçimi, yalnızca biyolojik gereksinimlerin değil, duyuşsal, psikolojik ve sosyal süreçlerin karşılıklı etkileşiminin bir sonucu olarak değerlendirilmelidir (Sørensen vd., 2003; Forestell, 2017).

Sosyal izolasyon ve beslenme

Beslenme, fizyolojik gereksinimlerin karşılanması yanı sıra kişiler arası etkileşim, aidiyet, paylaşım ve kültürel aktarım işlevleri taşıyan sosyal bir davranıştır. Bu nedenle bireyin sosyal ilişkilerindeki azalma yalnızca psikolojik iyilik hâlini değil; besin seçimini, öğün düzenini, yemek hazırlama isteğini ve beslenme durumunu da etkileyebilmektedir (Vesnaver & Keller, 2011; Hanna vd., 2023). Sosyal izolasyon ve yalnızlık kavramları sıklıkla birbiriyle ilişkili olarak değerlendirilse de aynı kavramı ifade etmemektedir. Sosyal izolasyon, bireyin sosyal bağlantılarının, kişiler arası temaslarının ve toplumsal etkinliklere katılımının nesnel olarak sınırlı olmasıdır; yalnızlık ise mevcut sosyal ilişkilerin bireyin beklentilerini karşılamaması sonucunda ortaya çıkan öznel ve rahatsız edici bir duygu olarak tanımlanmaktadır. İngiltere’de 50 yaş üzerindeki 3713 bireyin katılımıyla yürütülen çalışmada, sosyal izolasyon düzeyi arttıkça magnezyum, potasyum, vitamin B6, folat ve vitamin C alımının

yetersiz olma olasılığının yükseldiği belirlenmiştir. Bu ilişkiler yaş, cinsiyet, eğitim, medeni durum, toplam enerji alımı, sigara kullanımı ve fiziksel aktivite gibi değişkenler dikkate alındıktan sonra da devam etmiştir. Buna karşılık yalnızlık ile incelenen mikro besin öğelerinin yetersiz alımı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Steptoe vd., 2024).

Bir kişi tek başına yaşadığı hâlde kendisini yalnız hissetmeyebilirken, geniş bir sosyal çevresi bulunan başka bir kişi duygusal yakınlık eksikliği nedeniyle yalnızlık yaşayabilmektedir. Bu ayrım beslenmeyle ilişkili sonuçların değerlendirilmesinde önemlidir; çünkü sosyal izolasyon besine ulaşma, alışveriş yapma, yemek hazırlama ve öğün paylaşma gibi davranışları daha doğrudan etkileyebilirken, yalnızlık iştah, duygu durumu ve duygusal yeme davranışı üzerinden etkili olabilmektedir (Hanna vd., 2023; Steptoe vd., 2024).

Yemek yeme birçok toplumda aile ilişkilerinin sürdürülmesini, sosyal bağların güçlendirilmesini ve kültürel normların aktarılmasını sağlayan ortak bir etkinliktir. Birlikte yenilen öğünler bireye yalnızca sosyal destek sağlamamakta, aynı zamanda öğün zamanlarının düzenlenmesine, yemek hazırlama motivasyonunun artmasına ve daha çeşitli besinlerin tüketilmesine katkıda bulunabilmektedir. Sosyal ilişkiler ayrıca aile üyelerinin veya bakım verenlerin alışveriş, yemek hazırlama ve beslenme sorunlarını fark etme süreçlerine katılması yoluyla beslenme durumunu destekleyebilmektedir (Vesnaver & Keller, 2011). Sosyal izolasyon arttığında bu destek mekanizmaları zayıflayabilmektedir. Tek yaşayan bireyler yalnızca kendileri için yemek hazırlamayı zahmetli veya anlamsız bulabilir, daha az sıklıkta yemek pişirebilir ve hazırlaması kolay ancak besin değeri düşük ürünlere yönelebilirler. Besinlerin büyük ambalajlarda satılması, taze ürünlerin tüketilmeden bozulması, ulaşım sorunları, düşük gelir ve yemek hazırlama becerilerinin yetersizliği de tek kişilik hanelerde sağlıklı beslenmeyi güçleştirebilmektedir (Vesnaver & Keller, 2011; Hanna & Collins, 2015). Tek başına yaşama ile besin alımını inceleyen bir derlemede, yalnız yaşayan yetişkinlerin başkalarıyla yaşayanlara kıyasla daha düşük besin çeşitliliğine, daha az meyve, sebze ve balık tüketimine ve sağlıksız bir beslenme örüntüsüne sahip olma olasılıklarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte sonuçların cinsiyet ve sosyoekonomik duruma göre değiştiği, özellikle yalnız yaşayan erkeklerin olumsuz beslenme alışkanlıkları açısından daha riskli olabileceği

belirtilmiştir (Hanna & Collins, 2015). Ancak tek başına yenilen her öğünün zorunlu olarak sağlıklı olduğu düşünülmemelidir. Öğün eşliğinin etkisi kişinin yalnız yemeyi isteyerek seçip seçmediğine, yemek hazırlama becerisine, ekonomik olanaklarına ve sosyal ilişkilerinden duyduğu memnuniyete göre değişebilmektedir. Bazı bireyler yalnız yemek yerken daha sağlıklı seçimler yapabilirken, bazıları öğünü yalnızca fizyolojik gereksinimi karşılayan bir zorunluluk olarak değerlendirerek yemek hazırlamaya daha az zaman ayırabilmektedir (Hanna vd., 2023). Dolayısıyla tek başına yemek yeme ile diyet kalitesi arasındaki ilişkinin sosyal ve ekonomik bağlam içinde ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak sosyal izolasyon sağlıklı beslenme davranışlarına katkıda bulunabilirken, tıbbi nedenlerle uygulanan kısıtlayıcı diyetler, besin alerjileri, yeme bozuklukları veya bireyin başkalarıyla birlikte yemek yemesini güçleştiren sağlık sorunları da sosyal ortamlardan uzaklaşmasına neden olabilir. Dolayısıyla beslenme sorunları sosyal izolasyonun yalnızca bir sonucu değil, bazı durumlarda nedenlerinden biri de olabilir (Hanna vd., 2023).

Stres, duygudurum ve beslenme davranışı

Stres, bireyin çevresel veya psikolojik talepleri tehdit edici ya da baş edilmesi güç olarak değerlendirmesi sonucunda ortaya çıkan fizyolojik ve davranışsal bir yanıttır. Stres sırasında sempatik sinir sistemi ve hipotalamus-hipofiz-adrenal eksen aktive olmakta, kortizol başta olmak üzere çeşitli hormonlardaki değişimler iştahı, besin seçimini ve yeme motivasyonunu etkileyebilmektedir. Akut stres bazı bireylerde iştahı geçici olarak azaltırken, uzamış veya tekrarlayan stres enerji yoğun besinlere yönelimi ve kontrolsüz yeme davranışını artırabilmektedir (Hill vd., 2022).

Sağlıklı yetişkinlerde gerçekleştirilen 54 çalışmayı ve toplam 119.820 katılımcıyı kapsayan bir sistematik derlemede, stresin toplam besin alımında küçük bir artışla ilişkili olduğu ve özellikle sağlıklı besin tüketimini artırırken sağlıklı besin tüketimini azalttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte bireyler arası farklılıkların yüksek olması, stresin herkeste aynı yeme yanıtına neden olmadığını göstermektedir (Hill vd., 2022). Stresin beslenme üzerindeki etkisi, cinsiyet, ağırlık durumu, yeme kısıtlaması, baş etme becerileri, uyku düzeni ve stresin süresi gibi etmenlere göre değişebilmektedir.

Olumsuz duygular karşısında fizyolojik açlık bulunmadığı hâlde yeme davranışının ortaya çıkması duygusal yeme olarak tanımlanmaktadır. Duygusal yeme çoğunlukla stres, üzüntü, kaygı, yalnızlık veya can sıkıntısı sırasında kısa süreli rahatlama sağlamak amacıyla gelişmekte ve şeker, yağ veya tuz içeriği yüksek, kolay tüketilebilir besinlere yönelimle ilişkilendirilmektedir. Depresif belirtiler, kaygı, stres ve duygu düzenleme güçlüğünün daha yüksek duygusal yeme düzeyleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ancak duygusal yeme ile psikolojik belirtiler arasındaki ilişkinin gözlemsel olarak değerlendirilmesi, doğrudan nedensellik kurulmasını güçleştirmektedir (Dakanalis vd., 2023).

Duygudurum yalnızca tüketilen besin miktarını değil, besinin türünü ve öğün düzenini de etkileyebilmektedir. Depresif duygudurum bazı bireylerde iştah kaybı ve öğün atlama ile sonuçlanırken, bazı bireylerde karbonhidrat ve enerji içeriği yüksek besinlere yönelimi artırabilmektedir. Kaygı ve yoğun uyarılmışlık ise hızlı yeme, atıştırma, düzensiz öğün tüketimi veya iştahın baskılanması gibi farklı yanıtlarla ilişkili olabilmektedir. Bu nedenle stres ve duygudurum değişiklikleri hem yetersiz besin alımına hem de aşırı ve dengesiz beslenmeye katkıda bulunabilmektedir (Ha & Lim, 2023). Beslenme ile duygudurum arasındaki ilişki çift yönlüdür. Olumsuz duygular ve stres besin seçimini bozabilirken, düşük kaliteli beslenme örüntüleri de depresif ve kaygı belirtileriyle ilişkili olabilmektedir. Birleşik Krallık'ta yürütülen bir çalışmada, basit şeker, doymuş yağ ve ultra-işlenmiş ürünlerin yüksek; taze meyve ve sebze tüketiminin ise yetersiz olduğu batı tipi beslenme örüntüsünün, depresif ve anksiyöz belirtilerin görülme olasılığını anlamlı derecede artırdığı saptanmıştır (H. Chen vd., 2023). Bununla birlikte bu tür gözlemsel bulgular, beslenme örüntüsünün tek başına psikolojik bozukluklara neden olduğunu göstermemektedir.

Stresle ilişkili yeme davranışının yönetiminde yalnızca enerji kısıtlamasına odaklanılması yeterli olmayabilir. Duygusal yemeyi hedefleyen bilişsel davranışçı, kabul ve farkındalık temelli müdahalelerin duygusal yeme düzeyini azaltabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle beslenme müdahalelerinde açlık ve tokluk sinyallerinin fark edilmesi, duygusal tetikleyicilerin tanınması ve işlevsel baş etme becerilerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Depresyon, kaygı, kontrolsüz yeme atakları belirtilerinin eşlik ettiği durumlarda psikolojik değerlendirme

yapılması ve bireyin gereksinimlerine göre multidisipliner bir yaklaşım benimsenmesi önerilmektedir (Smith vd., 2023).

Sonuç olarak stres ve duygudurum, iştahı, öğün düzenini ve besin seçimini etkileyen önemli psikolojik belirleyicilerdir. Kronik stres ve olumsuz duygular özellikle enerji yoğun ve besin değeri düşük ürünlere yönelimi artırabilmekte, düşük kaliteli beslenme örüntüleri de depresif ve anksiyete belirtileriyle ilişkili olabilmektedir. Bu ilişkinin çift yönlü ve bireye özgü olması nedeniyle beslenme davranışı, psikolojik durum ve yaşam koşullarıyla birlikte değerlendirilmelidir (H. Chen vd., 2023).

Psikolojiyi ve duygusal yemeyi etkileyen etmenler

Duygusal yeme, fizyolojik açlıktan çok olumlu veya olumsuz duygulara yanıt olarak besin tüketme eğilimini ifade etmektedir. Bu davranış yalnızca stresle açıklanamaz. Duygu düzenleme becerileri, depresif ve kaygılı belirtiler, dürtüsellik, uyku, beden ağırlığı, diyet kısıtlaması ve çevresel besin uyaranları gibi çok sayıda etmenin karşılıklı etkileşimiyle şekillenmektedir (Dakanalis vd., 2023; Ha & Lim, 2023). Duygu düzenleme, bireyin yaşadığı duyguyu tanıması, anlamlandırması ve uygun biçimde yönetebilmesini kapsar. Duyguların düzenlenmesinde güçlük yaşayan bireyler, olumsuz duygudurumunu azaltmak amacıyla besini kısa süreli bir rahatlama aracı olarak kullanabilmektedir. Özellikle olumsuz duygular sırasında davranışsal tepkilerin baskılanmasında yaşanan güçlüklerin kontrolsüz besin alımına katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (Arexis vd., 2023). Aleksitimi ise bireyin duygularını tanımlama ve ifade etmede güçlük yaşamasıyla karakterizedir. Sistemik derleme bulguları, aleksitimi ile öz bildirime dayalı duygusal yeme arasında genel olarak pozitif bir ilişki bulunduğunu, ancak mevcut çalışmaların çoğunun kesitsel olması nedeniyle nedenselliğin kesin olarak açıklanamadığını göstermektedir. Duygusal ve bedensel sinyallerin birbirinden yeterince ayrılamaması, duygusal sıkıntının açlık olarak yorumlanmasına ve yeme davranışıyla düzenlenmeye çalışılmasına neden olabileceği düşünülmektedir (McAtamney vd., 2023).

Dürtüsellik, kısa vadeli ödüllere yönelme ve davranışı durdurmada güçlük yaşama eğilimi nedeniyle duygusal yeme açısından önemli bir bireysel özellik olabilir. Üniversite öğrencileriyle yapılan bir çalışmada duygu düzenleme güçlüğü'nün duygusal yemeye ilişkisinde dürtüsellik ve depresif belirtilerin ardışık aracılık rolü gösterilmiştir (Yang vd., 2023).

Yetersiz uyku, iştah düzenleyici mekanizmaları ve bilişsel kontrolü etkileyerek duygusal ve kontrolsüz yeme eğilimini artırabilir. Sistematik bir derlemede yetersiz uyku ile obezite arasındaki ilişkide duygusal yemenin rol oynayabileceği; bu ilişkinin özellikle kadınlarda daha belirgin olabileceği bildirilmiştir (Zerón-Rugerio vd., 2023).

Katı ve sürdürülemez diyet kısıtlamaları, besinlerin yasak veya ödül biçiminde sınıflandırılmasına ve bilişsel kontrolün zayıfladığı dönemlerde aşırı yeme riskinin artmasına neden olabilir. Özellikle uzun süreli enerji kısıtlaması ile olumsuz duygular bir araya geldiğinde, yüksek enerjili besinlere yönelim ve kontrol kaybı şeklinde yeme görülebilmektedir (van Strien, 2018). Beden memnuniyetsizliği, düşük benlik saygısı ve kilo damgalaması psikolojik sıkıntıyı artırarak sağlıksız yeme tutumları ve duygusal yeme eğilimiyle ilişkili olabilmektedir (Levinson vd., 2024). Olumsuz beden algısına bağlı katı ve sürdürülemez diyet girişimleri, diyetin bozulması sonrasında suçluluk ve başarısızlık duygularını güçlendirerek tekrarlayıcı bir yeme döngüsüne katkıda bulunabilir. Bu nedenle beden ağırlığı yönetiminde yalnızca ağırlık kaybına değil, bireyin beden algısına, psikolojik iyilik hâline ve kiloya bağlı damgalanmasından korunmasına da odaklanılması önemlidir (Rubino vd., 2020).

Besinlerin kolay erişilebilir olması, yoğun reklamlar, büyük porsiyonlar ve sürekli yiyecek uyarılarına maruz kalma fizyolojik açlık olmaksızın yeme davranışını tetikleyebilmektedir. Özellikle stresli veya olumsuz duygudurumdaki bireylerde yüksek şeker, yağ ve tuz içeren besinlerin görünümü ve kokusu, ödül beklentisini güçlendirerek yeme isteğini artırabilir (Ha & Lim, 2023).

Aile içinde besinin ödül veya duyguları yatıştırma aracı olarak kullanılması, çocukların fizyolojik açlık dışındaki durumlarda yemeyi öğrenmelerine ve ilerleyen dönemlerde duygusal yeme davranışının gelişmesine katkıda bulunabilir. Yapılan bir çalışmada, dört yaşında besinin ödül olarak kullanılması dokuz yaşındaki duygusal aşırı yeme davranışını öngörmüş; ilişkinin çift yönlü olabileceği de gösterilmiştir (Jansen vd., 2020). Bununla birlikte yeme davranışı yalnızca bireysel psikolojik özelliklerle açıklanamaz; aile ve akran etkileri, kültürel normlar, ekonomik olanaklar, besine erişim ve yemek yenilen fiziksel çevre de besin tercihlerini ve tüketim biçimini şekillendirmektedir. Bu nedenle duygusal yeme, yalnızca irade eksikliği olarak değil, bireysel özelliklerle sosyal ve

çevresel koşulların etkileşimi sonucunda gelişen çok boyutlu bir davranış olarak değerlendirilmelidir (Chen & Antonelli, 2020).

Sonuç olarak duygusal yeme; duygu düzenleme güçlüğü, depresif ve kaygılı belirtiler, dürtüsellik, yetersiz uyku, katı diyet kısıtlaması, beden memnuniyetsizliği ve çevresel besin uyaranlarının etkileşimiyle gelişebilen çok boyutlu bir davranıştır. Değerlendirme ve müdahale sürecinde yalnızca tüketilen besin miktarına değil, yemeyi başlatan duyguya, bireyin açlık-tokluk farkındalığına, uyku düzenine, beden algısına ve çevresel koşullarına da odaklanılmalıdır (Chen & Antonelli, 2020; H. Chen vd., 2023).

Duyusal analizler

Duyusal analiz, ürünlerin görünüm, koku, tat, lezzet, doku ve ses gibi özelliklerinin insan duyuuları aracılığıyla sistematik ve kontrollü biçimde değerlendirilmesini sağlayan bilimsel yöntemler bütünüdür. Bu yöntemler ürünler arasındaki algılanabilir farklılıkların belirlenmesi, duyuusal özelliklerin tanımlanması, tüketici beğenisinin ölçülmesi ve yeni ürün geliştirme süreçlerinin desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Lawless & Heymann, 2010; Ruiz-Capillas vd., 2021). Duyusal analiz yöntemleri genel olarak ayırım testleri, tanımlayıcı analizler ve tüketici temelli testler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ayırım testleri ürünler arasında algılanabilir bir farklılık bulunup bulunmadığını, tanımlayıcı analizler farklılığın hangi duyuusal özelliklerden kaynaklandığını ve bu özelliklerin yoğunluğunu, tüketici testleri ise ürünün ne ölçüde beğenildiğini veya tercih edildiğini belirlemektedir (Lawless & Heymann, 2010; Drake vd., 2023).

Ayırım testleri, ürün formülasyonunda, üretim sürecinde, ambalajda veya depolama koşullarında yapılan bir değişikliğin duyuusal açıdan algılanabilir bir farklılık oluşturup oluşturmadığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu testlerde değerlendircilerden ürünler arasındaki farkın niteliğini açıklamaları değil, yalnızca bir farklılık bulunup bulunmadığını belirlemeleri beklenmektedir (Lawless & Heymann, 2010; Marques vd., 2022). Üçgen testi, en sık kullanılan ayırım yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde değerlendiriciye ikisi aynı, biri farklı olmak üzere üç kodlanmış örnek sunulmakta ve farklı olan örneği seçmesi istenmektedir. Duo-trio testinde ise bir referans örnek ile birlikte iki kodlanmış örnek sunulmakta ve referansla aynı olan örneğin belirlenmesi beklenmektedir. Sıralama testlerinde birden fazla örnek, belirli bir duyuusal özelliğin

yoğunluğuna göre sıralanmaktadır ancak bu yöntem farklılığın büyüklüğü hakkında doğrudan nicel bilgi sağlamamaktadır (Marques vd., 2022).

Tanımlayıcı analizler, bir ürünün duyu özelliklerini belirlemek ve bu özelliklerin yoğunluğunu ölçmek amacıyla uygulanmaktadır. Eğitimli panelistler ürünün renk, aroma, tat, lezzet, doku ve ağız hissi gibi özellikleri için ortak bir tanımlayıcı sözlük oluşturmakta ve her özelliği belirli ölçekler üzerinde değerlendirmektedir (Lawless & Heymann, 2010). Bu yöntemler sayesinde ürünlerin ayrıntılı duyu profilleri oluşturulabilmekte, farklı formülasyonlar karşılaştırılabilmekte ve depolama veya işleme sırasında ortaya çıkan duyu değişiklikler izlenebilmektedir. Geleneksel tanımlayıcı analizler yüksek düzeyde panelist eğitimi gerektirirken, son yıllarda daha hızlı uygulanabilen ve tüketicilerin de değerlendirme sürecine katılabildiği kontrol listesi, serbest sıralama ve proje haritalama gibi yöntemler geliştirilmektedir (Marques vd., 2022).

Tüketici testleri, hedef kitlenin bir ürünü ne ölçüde beğendiğini, kabul ettiğini veya tercih ettiğini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Hedonik değerlendirmelerde çoğunlukla “hiç beğenmedim” ile “çok beğendim” arasında değişen kategori ölçekleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler ürünün duyu özelliklerini nesnel olarak tanımlamaktan çok tüketicinin öznel beğeni ve kabul düzeyini ölçmektedir (Lawless & Heymann, 2010; Ruiz-Capillas vd., 2021). Tüketici araştırmalarında katılımcıların hedef pazarı temsil etmesi önemlidir. Ürünü tüketmeyen veya hedef tüketici grubunda bulunmayan bireylerin örnekleme alınması sonuçların genellenebilirliğini azaltabilir. Marka, fiyat, ambalaj, sağlık beyanları ve ürün hakkındaki ön bilgiler de beğeni puanlarını etkileyebileceğinden, araştırma amacına göre kör ya da bilgilendirilmiş test tasarımları tercih edilmelidir (Drake vd., 2023). Analitik duyu değerlendirme ile tüketici beğenisi aynı kavram değildir. Eğitimli bir panelist ürünün tatlılık, gevreklik veya acılık yoğunluğunu değerlendirirken; tüketiciler aynı ürünü genel olarak ne ölçüde beğendiklerini bildirir. Bu nedenle ürün geliştirme araştırmalarında analitik testlerle tüketici testlerinin birlikte kullanılması, ürünün hangi özelliklere sahip olduğunun ve bu özelliklerin tüketici tarafından nasıl karşılandığının ayrı ayrı belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Ruiz-Capillas vd., 2021; Drake vd., 2023).

Duyu analiz sonuçlarının güvenilirliği, değerlendiricilerin uygun biçimde seçilmesine, eğitilmesine ve performanslarının düzenli olarak

izlenmesine bağlıdır. Panelistlerin duyuasal hassasiyetleri, tanımlayıcıları doğru kullanma becerileri, tekrarlanabilirlikleri ve panel içindeki uyumları değerlendirilmelidir. Özellikle tanımlayıcı analizlerde panelistlerin eğitim sürecinde ürün özelliklerini ortak bir dil kullanarak tanımlamaları ve referans örneklerle çalışmaları gerekmektedir. Test ortamı, sonuçları etkileyebilecek görsel, işitsel ve kokusal uyaranlardan mümkün olduğunca arındırılmalıdır. Örneklerin eşit miktarda ve aynı sıcaklıkta sunulması, rastgele kodlanması, sunum sırasının dengelenmesi ve örnekler arasında ağız temizleyici kullanılması yanlılık riskini azaltmaktadır. Ayrıca panelistlerin birbirlerinden etkilenmesini önlemek amacıyla değerlendirmelerin bireysel ve kontrollü ortamlarda gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Lawless & Heymann, 2010).

Duyusal analiz yönteminin araştırma sorusuna uygun seçilmesi gerekmektedir. Ürünler arasında fark olup olmadığı ayırım testleriyle, farkın hangi özelliklerden kaynaklandığı tanımlayıcı analizlerle, tüketicinin ürünü ne kadar beğendiği ise hedonik testlerle değerlendirilmelidir. Araştırma sorusuyla uyumsuz yöntem seçimi, yetersiz panelist eğitimi ve standartlaştırılmamış örnek sunumu sonuçların bilimsel geçerliliğini azaltabilmektedir (Marques vd., 2022; Drake vd., 2023).

Sonuç olarak duyuasal analizler, ürün özelliklerinin ve tüketici tepkilerinin kontrollü koşullarda değerlendirilmesini sağlayan bilimsel yöntemlerdir. Ayırım testleri ürünler arasındaki farklılığı, tanımlayıcı analizler farklılığın niteliğini ve yoğunluğunu, tüketici testleri ise beğeni ve kabul düzeyini ortaya koymaktadır. Güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için araştırma amacına uygun yöntemin seçilmesi, değerlendiricilerin uygun biçimde eğitilmesi ve test koşullarının standartlaştırılması gerekmektedir (Drake vd., 2023).

Özel beslenme türlerinin psikolojiye etkisi

Bireylerin diyet kalitesinin depresyon gibi psikolojik hastalıklar ile bağlantılı olduğu, klinikte ruhsal bozukluk tanısı almış bireylere uygulanan diyet müdahalelerinin klinik açıdan fayda sağlayabileceği, özellikle Omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri, B grubu vitaminleri, demir, D vitamini, çinko ve probiyotikler açısından zengin beslenme müdahaleleri ile yaşam tarzı değişikliklerinin beyin sağlığını destekleyebileceğinin umut vadettiği ve konu ile ilgili çalışmaların devam ettiği ifade edilmektedir

(Sarris vd., 2015; Firth vd., 2019; Lassale vd., 2019). Bu çerçevede çeşitli beslenme türleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu beslenme türlerine glutensiz beslenme, ketojenik beslenme, mikrobiyota koruyucu beslenme, Akdeniz tipi beslenme ve MIND diyeti örnek olarak gösterilebilir.

Glütensiz beslenme

Buğday, arpa, çavdar ve yulaf depo proteinleri bakımından zengin tahıllardır ve tahılların başlıca depo proteinleri prolaminler ve glütelinlerden oluşmaktadır (Balakireva & Zamyatnin, 2016). Bu tahıllardaki depo proteinlerinin prolamin fraksiyonları sırasıyla buğdayda gliadin, arpada hordein, çavdarda secalin ve yulafta avenin olarak adlandırılmaktadır. Buğdayda bulunan gliadin (prolamin) ve glütenin (glütelin) proteinleri su ile hidrasyona uğrayıp mekanik işlem gördüğünde glüten kompleksini oluşturur. Arpa, çavdar ve yulafta bulunan homolog proteinler ise buğday glüteninden farklı yapısal ve teknolojik özellikler sergilemektedir (Balakireva & Zamyatnin, 2016). Glütensiz beslenme buğday, arpa, çavdar ve yulaf ürünlerini içermeyen; daha çok immün aracılı, kronik ve genetik geçişli bir hastalık olan çölyak, dermatitis herpetiformis (DH), nörolojik hastalıklar (şizofreni, depresyon, migren, vb), buğday alerjisi, non-çölyak glüten duyarlılığı (NCGS), otizm ve obezite gibi hastalıklarda uygulanan bir diyet türüdür. Glütensiz beslenme planında glüten içermeyen kurubaklagiller, meyve ve sebzeler, işlenmemiş et, balık, yumurta, süt ve süt ürünleri, pirinç, mısır, psödotahıllar (karabuğday, kinoa, amaranth, sorgum) ve bitkisel yağlar bulunmaktadır (Metin, 2016; Serin & Akbulut, 2017; Melini, 2019; Yıldırım, 2020).

Geleneksel beslenme modellerinden farklı olarak glütensiz diyetle yüksek yağ, düşük posa, düşük demir, düşük folik asit ve düşük B vitamini alımı gözlenmektedir (Ulusoy, 2019). Diğer beslenme modellerine göre ortaya çıkan bu farklılıkların mikrobiyotaya etki ettiği ve bağırsak florasını değiştirebildiği bildirilmektedir (De Palma vd., 2009; Bonder vd., 2016; Zopf vd., 2018).

Depresyon (majör depresif bozukluk), önceden keyif alınan aktivitelere karşı ilgi kaybetme, iştah değişiklikleri, uyku problemleri, enerji azlığı, artmış yorgunluk, konsantrasyon olamama gibi semptomların en az iki hafta süreyle devam etmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Depresyon genelde ilaç veya psikoterapi ile tedavi edilmeye çalışılmaktadır. Ancak son dönemlerde beslenme modellerinin depresyon semptomlarını

azaltılabileceği düşüncesi ön plana çıkmaktadır. Depresyonun önlenmesinde beş anahtar beslenme önerisi göze çarpmaktadır: Birinci anahtar öge, geleneksel beslenme modellerinin (Akdeniz diyeti vb.) tercih edilmesi, ikinci öge meyve, sebze, kurubaklagil, tahıl ve kuruyemiş türlerinin beslenme örüntüsüne dahil edilmesi, üçüncü öge omega-3 çoklu doymamış yağ asidi açısından zengin gıdaların tüketiminin artırılması, dördüncü öge sağlıklı besinlerin tercih edilmesi ve beşinci öge ise işlenmiş gıdaların, fast-food, ticari unlu mamuller ve şeker tüketiminin sınırlandırılmasıdır (Opie, 2015).

Depresyon ve gluten tüketimi arasındaki ilişki konusunda NCGS olan hastalarla yapılan bir çalışmada, müdahale grubuna her gün 3 gün boyunca gluten içeren beyaz ekmek tüketirilmiş, kontrol grubu ise 3 gün boyunca günde 4 defa glutensiz ekmek tüketmiştir. Çalışma sonucunda, glutenli ekmek tüketen müdahale grubunda depresyon ve anksiyete oranı, glutensiz beslenen kontrol grubuna kıyasla daha yüksek belirlenmiştir (Peters vd., 2014).

Çölyak hastalarında görülen depresyon ve uyuma güçlüğü semptomlarının, glutensiz beslenen bireylerde glutenli beslenenlere göre daha düşük seyrettiği bildirilmiştir (Zylberberg vd., 2017). Benzer şekilde migren hastaları ile yapılan çalışmalarda da bazı spesifik gıdaların migren ataklarını tetiklediği, bu gıdaların elimine edildiği beslenme örüntülerinin migren ve baş ağrısı ataklarını azalttığı gözlenmiştir (Alpay vd., 2010). Migren hastalarında gluten, kafein, aspartam, yumurta, narenciye, domates, eski peynir, yağlı gıdalar, dondurma gibi gıdaların atakları tetikleyebileceği ve semptomları artırabileceği ifade edilmektedir (Cady vd., 2012). Glutensiz beslenmenin çölyak hastalığında olduğu gibi migren hastalarında da semptomları azaltıcı etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir ve daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Hemert vd., 2014).

Şizofreni vakalarında gluten ve kazein içindeki "exorphin"lerin, bağırsaktan emilimi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Dohan, 1966). Yeni Gine ve Güney Pasifik Adaları'nda yaşayan, buğday, arpa, çavdar ve yulaf içermeyen geleneksel beslenme alışkanlıklarına sahip toplumlarda şizofreni görülme sıklığının, gluten ve kazein tüketen popülasyonlara kıyasla daha düşük olduğu belirtilmektedir (Elder vd., 2006). Benzer şekilde şizofreni hastaları üzerinde yapılan bir çalışmada, beslenme örüntülerinden gluten çıkarıldığında hastalığa dair semptomlarda düzelme

gözlendiği belirtilmiştir (Porcelli vd., 2014). Literatürdeki çok sayıda çalışmada, beslenme planından glüten çıkarılan şizofreni gibi nöropsikiyatrik hastalığı bulunan kişilerde semptomların azaldığı ifade edilmektedir (Ergün vd., 2018).

Ketojenik beslenme

Yüksek yağlı, orta proteinli ve düşük karbonhidrat içerikli bir beslenme modeli olan ketojenik diyet (KD), açlıkta görülen biyokimyasal değişiklikleri taklit ederek glukoneogenez ve ketogenez mekanizmalarını uyarmaktadır. Karbonhidrat alımının kısıtlanmasıyla birlikte enerji metabolizmasında glukozun yerini kısmen keton cisimleri alır. Keton cisimleri başta beyin olmak üzere çeşitli dokular için alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda KD, başta depresyon olmak üzere çeşitli psikiyatrik bozukluklarda potansiyel bir tedavi yaklaşımı olarak araştırılmakta ve değerlendirilmektedir (Wlodarczyk vd., 2021; Sethi, 2022; Xu vd., 2023). Keton cisimlerinin metabolik, nörotransmitter, enflamatuvar ve beyin-bağırsak aksını etkileyebileceği ifade edilmektedir ancak konu üzerine daha çok çalışma yapılması gerektiği belirtilmektedir (Brietzke vd., 2018; Wlodarczyk vd., 2021). Nöral glukoz kullanımının yeterli olmadığı hastalıklardan dirençli epilepsi, Alzheimer, Parkinson, down sendromu, otizm vb. nöropsikiyatrik hastalıklarda hipometabolizma nedeniyle nöron harabiyeti ile nöronların fonksiyonları bozulmakta ve bu tür durumlarda nöronlar enerji kaynağı olarak glukozu kullanamazken keton cisimlerini kullanabilmektedir. Bu sebeple şizofreni, duygudurum bozuklukları ve anksiyete gibi nöropsikiyatri hastalarında ketojenik beslenme planı uygulanmakta ve olumlu yanıtlar alınmaktadır (Zhang vd., 2015; Brietzke vd., 2018).

2026 yılında yayımlanan toplam 50 çalışmanın dahil edildiği kapsamlı bir meta-analizde, ketojenik beslenme modellerinin depresyonun klinik seyrini iyileştirme yönünde ılımlı bir terapötik etkiye sahip olduğu, ancak anksiyete semptomları üzerindeki etkinliğine dair mevcut kanıtların henüz yetersiz düzeyde kaldığı ifade edilmektedir (Janssen-Aguilar, 2026).

Birleşik Krallık'ta gerçekleştirilen, tedaviye dirençli depresyon tanısı almış, 18-65 yaş aralığındaki 88 katılımcının dahil edildiği bir klinik araştırmada, hastalara 6 hafta süreyle iki farklı diyet müdahalesi uygulanmıştır. İlk grupta haftalık beslenme planları, günlük karbonhidrat alımı 30 gramın altında kalacak şekilde (klasik KD protokolü)

düzenlenirken; ikinci grupta günlük en az bir porsiyon sebze veya meyve içeren, doymuş yağlar yerine doymamış yağ asitlerinin tercih edildiği fitokimyasallardan zengin bir beslenme modeli uygulanmıştır. Müdahale süreci sonunda her iki grupta da depresyon şiddetinin belirgin şekilde azaldığı ve ketojenik beslenmenin nörokimyasal düzeyde antidepresan benzeri faydalar sağladığı bildirilmiştir (Gao vd., 2026).

Nörodejeneratif hastalıkların yönetimini inceleyen araştırmalarda ketojenik beslenmenin Alzheimer hastalığı semptomlarının hafifletilmesinde olumlu klinik sonuçlar sağladığı ifade edilmektedir (Tutan & Yıldırım, 2024). Bu klinik tablonun arkasındaki temel nörobiyolojik mekanizmanın; sistemik keton seviyelerindeki artışa (ketozis) bağlı olarak beyin enerji metabolizmasının optimize edilmesi, serebral amiloid plak birikiminin azaltılması ve ilerleyici nöronal hücre ölümü yerine nörojenezin (yeni nöron oluşumunun) desteklenmesi olduğu belirtilmektedir (Broom vd., 2019; Lilamand vd., 2021). Ketojenik bir beslenme müdahale çalışması, 26 Alzheimer hastası üzerinde yürütülmüş ve hastaların günlük işlevsel yaşam kalitelerinin anlamlı ölçüde arttığı rapor edilmiştir (Phillips vd., 2021). Obez yetişkinler üzerinde yapılan bir çalışmada, 2 hafta süreyle uygulanan ketojenik diyet uygulamasının bireylerin vücut ağırlığı, bilişsel işlevleri, fiziksel performansları, yeme davranışları, metabolik ve hormonal profilleri üzerinde olumlu sonuçlar sağladığını göstermiştir (Mohorko vd., 2019). Başka bir çalışmada, Alzheimer hastalığı riski olan 20 kişi üzerinde 6 hafta süreyle uygulanan modifiye ketojenik beslenme planı (%5-10 karbonhidrat, %30 protein, %65-70 yağ) ve Amerikan Derneği'nin önerdiği diyetin (%55-65 karbonhidrat, %20-30 protein, %15-20 yağ) bilişsel fonksiyon test skorlarını arttırdığı ve Alzheimer patogenezinin etkisi olan amiloid beta-42 seviyesinde olumlu etkiler meydana getirdiği bildirilmiştir (Neth vd., 2020).

Laktozsuz beslenme

Süt şekeri olarak adlandırılan laktoz; glikoz ve galaktoz monosakkaritlerinin β -(1,4) glikozidik bağı ile bağlanması sonucu oluşan bir disakkarittir. Diyetle alınan laktoz, ince bağırsak epitel hücrelerindeki villuslardan salınan laktaz enzimi aracılığıyla monosakkarit bileşenlerine (glikoz ve galaktoz) hidrolize edilerek emilir. Bu hidroliz ve emilim süreci ağırlıklı olarak proksimal jejunumda gerçekleşmektedir (Köksal & Gökmen, 2000). Süt ile alınan laktoz organizma tarafından yeterince

sindirilemediğinde, klinik bir tablo olan laktoz intoleransı açığa çıkmaktadır. Bu durumda hidrolize edilemeyen laktoz, kolon mikrobiyotasındaki bakteriler tarafından fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri ile hidrojen (H_2), karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) gazlarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum bireyde meteorizm (gaz), abdominal kramp, bulantı, kusma ve osmotik ishal gibi gastrointestinal semptomların gelişmesine yol açar (Saltık vd., 2016). Gastrointestinal sistem sağlığının sürdürülebilmesi için dengeli bir bağırsak mikrobiyota homeostazı elzemdir; aynı şekilde ruh sağlığının korunmasında da psikobiyotiklerin beslenme planına dahil edilmesi kritik bir öneme sahiptir (Wasilewski vd., 2015; Del Toro-Barbosa vd., 2020).

Psikobiyotikler, kommensal bağırsak bakterileri ile etkileşime girerek konakçıya zihinsel sağlık açısından terapötik fayda sağlayan probiyotik mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Bu spesifik mikroorganizmalar süt, yoğurt, kefir, belirli peynir türleri gibi süt ürünlerinin yanı sıra çeşitli taze sebzeler ve fermente besinlerde doğal olarak bulunurlar. Nöropsikiyatrik hastalıklar odağında yürütülen çalışmalar, beyin-bağırsak aksı üzerinde fermente gıda tüketiminin bağırsak florasını olumlu yönde modüle ettiğini ve bireylerin duygudurumu üzerinde anlamlı katkılar sağlandığını göstermektedir (Luang-In vd., 2020; Smith vd., 2021; Casertano vd., 2022; Ömür & Kalkan, 2023).

Dünya'nın çeşitli bölgelerinde 1900'lü yıllardan bu yana biyoteknolojik bir süreç olan fermentasyon ile bitkisel ve hayvansal kaynaklı pek çok gıda maddesi elde edilmektedir; yoğurt, kefir ve geleneksel peynirler bu matrislerin en yaygın örnekleridir (Chilton vd., 2015). Literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı sade (işlenmemiş) sütün ziyade, fermente süt türevleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bazı klinik araştırmalar, özellikle yetişkin bireylerde çiğ veya pastörize sade süt tüketiminin beyin sisi, gastrointestinal yakınmalar ve laktoz intoleransına bağlı akut semptomlarla ilişkili olabileceğini doğrulamaktadır. Buna karşın, diyet organizasyonunda sade süt yerine yoğurt, kefir ve diğer fermente muadillerinin ikame edilmesinin söz konusu semptomatik yükü hafiflettiği bildirilmektedir. Bu durumun temel mekanizması, sütün işlenmesi ve fermentasyonu esnasında matristeki laktoz konsantrasyonunun önemli ölçüde azalmasıdır. Nitekim tereyağı üretiminde laktozun yaklaşık %99'u yan ürün olan yayık altı ile

uzaklaştırılırken, peynir olgunlaştırma sürecinde laktozun yaklaşık %90'ı serum (peynir altı suyu) fazına ayrılmaktadır. Benzer şekilde, yoğurt ve kefir gibi fermente süt ürünlerindeki laktozun bir kısmı, starter kültürler (mikroorganizmalar) tarafından laktik aside dönüştürülmektedir. Karbonhidrat yükündeki bu düşüş, laktoz intoleransı olan hassas bireylerde intestinal distress semptomlarının önlenmesini sağlar. Sonuç olarak, bağırsak mukozal bütünlüğünün ve florasının korunmasının, bağırsak-beyin eksenini üzerinden merkezi sinir sistemini olumlu yönde etkileyerek duygudurum bozukluklarının ve ilişkili psikolojik semptomların insidansını azaltabileceği ileri sürülmektedir (Akın vd., 2012). Laktoz intoleransı bulunan kişilerde laktozsuz beslenme tedavisinin, gastrointestinal sisteme dair görülen olumsuz semptomların azaltılması veya ortadan kaldırılmasında etkili olduğu ve bununla birlikte bazı nörolojik hastalıkların tedavisinde kişilerde intolerans bulunmasa dahi laktozsuz beslenmenin olumlu yanıt verdiği ifade edilmektedir (Yıldırım & Özen, 2017).

Lactobacillus GG ile fermente edilen UHT sütün hidrolizi sonucunda opioid peptit salgılandığı ve bu peptitlerin kana enjekte edilmesi ile yatıştırıcı ve analjezik etki gösterdiği ve uyku düzenlenmesi konusunda destek olduğu belirtilmektedir (Xu, 1998).

Şizofreni hastalarında, genetik yatkınlık sonucu sütteki kazein ve/veya glütenden kaynaklanan peptitlerin normalden daha fazla oluşabileceği ileri sürülmektedir. Ayrıca bu bireylerde bağırsak geçirgenliğinin artmış olabileceği ve buna bağlı olarak bu peptitlerin bağırsaktan kana daha fazla geçerek düzeylerinin yükseldiği ve bunun nörolojik etkilerle ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Dohan, 1966; Elder vd., 2006).

Japonya'da gebe kadınlar üzerinde yapılan kohort çalışmasında yüksek oranda kalsiyum takviyesinin ve yoğurt tüketiminin gebelik sırasında depresyonu azalttığı belirtilmiştir (Lang & Borgwardt, 2013).

Akdeniz tipi beslenme ve MIND

Akdeniz tipi beslenme modeli zeytinyağı, tam tahıllar, bakliyat, meyve ve sebzeler, peynir ve yoğurt gibi süt ürünleri ile balık tüketiminin desteklendiği bir diyet modelidir. Dünyada en sağlıklı beslenme modeli olarak kabul edilmektedir. Akdeniz tipi beslenmede gıdaların antioksidanlarca ve lif açısından zengin olması, tekli doymamış ve omega-

3 çoklu doymamış yağ asit içeriklerinin yüksek olması nedeniyle sağlık yönünden yararlı bir beslenme modeli olduğu bilinmektedir (Karakula-Juchnowicz vd., 2017; Benjamin Niland & Cash, 2018; Teasdale vd., 2020; Aranburu vd., 2021; Mamalaki vd., 2023).

2015 yılında yapılmış olan bir meta-analiz çalışmasında, Akdeniz tipi beslenme modeli olarak organize edilen diyet müdahalelerinin klinik popülasyonda depresyon insidansını anlamlı ölçüde azalttığı ortaya konmuştur (Patrick & Ames, 2015). Benzer şekilde 37 çalışmayı birleştiren başka bir meta-analiz çalışmasında Akdeniz tipi beslenmenin depresyona karşı koruyucu etkiye sahip olabileceği ifade edilmektedir (Bayes vd., 2020).

Literatürdeki 152 klinik katılımcı üzerinde yürütülen randomize kontrollü bir araştırmada, 3 ay süreyle balık yağı takviyeli Akdeniz diyeti uygulanan grubun psikolojik semptomlarında majör iyileşmeler saptanmış ve mental sağlığın korunduğu bildirilmiştir. Bu terapötik başarının temelinde, diyetle omega-3 alımının artması ve organizmadaki omega-3/omega-6 yağ asidi rasyosunun optimize edilmesi yer almaktadır (Parletta vd., 2019). Klinik yazındaki modifiye Akdeniz diyetinin test edildiği randomize kontrollü bir diğer müdahale çalışmasında (SMILES çalışması) ise, katılımcıların depresif semptomatoloji skorlarının anlamlı derecede azaldığı kanıtlanmıştır (Jacka vd., 2017).

MIND (Mediterranean-DASH Intervention for Neurodegenerative Delay) beslenme modeli, nörodejeneratif hastalıkların gelişimini önlemek veya geciktirmek amacıyla, Akdeniz diyeti ile Hipertansiyonu Durdurmaya Yönelik Diyet Yaklaşımı (DASH) ilkelerinin birleştirilmesiyle geliştirilmiştir. Bu beslenme modeli, Chicago'daki Rush Üniversitesi Tıp Merkezi araştırmacıları tarafından, özellikle bilişsel işlevlerin korunmasına yönelik besin öğelerini ön plana çıkarmak amacıyla oluşturulmuştur. MIND diyetinde toplam 15 besin grubu yer almakta olup bunların 10'u beyin sağlığını destekleyen, 5'i ise sınırlandırılması önerilen besin gruplarıdır. Beyin sağlığını destekleyen besin grupları yeşil yapraklı sebzeler, diğer sebzeler, tam tahıllar, kuru baklagiller, yağlı tohumlar, çilek ve yaban mersini gibi meyveler, balık, kümes hayvanları, zeytinyağı ve fermente içecekler olarak tanımlanmıştır. Sınırlandırılması önerilen besin grupları ise tereyağı ve margarin, kırmızı et, peynir, hamur işleri ve tatlılar ile kızartılmış veya fast-food tarzı besinlerdir (Hosking vd., 2017; Corley, 2022).

İran’da obezite tanısı almış 339 birey üzerinde yürütülen kesitsel bir çalışmada, MIND diyet skoru yüksek olan katılımcıların depresyon düzeylerinin anlamlı ölçüde düşük olduğu, benzer şekilde kaygı ve stres parametrelerinde de istatistiksel olarak anlamlı azalma eğilimleri sergiledikleri tespit edilmiştir (Ardekani vd., 2023). Salari-Moghaddam vd. (2019) ise MIND beslenme modeline yüksek uyum gösterilmesi ile depresyon ve ilişkili psikolojik morbiditeler arasında ters orantılı bir ilişki bulunduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde 2023 yılında yayımlanan bir vaka-kontrol çalışmasında, anksiyete bozukluğu olan bireyler ile sağlıklı kontrollerin MIND beslenme modeline olan uyum düzeyleri karşılaştırılmış; diyetle bağlılık düzeyi yüksek olan katılımcılarda anksiyete riskinin belirgin şekilde daha düşük seyrettiği ortaya konmuştur (Torabynasab vd., 2023).

MIND beslenme modelinin nöroprotektif etkileri sayesinde bilişsel gerileme hızını yavaşlattığı, genel popülasyonda bu diyetle adaptasyonun anksiyete ve depresyon başta olmak üzere majör psikolojik disfonksiyonların insidansını azalttığı ifade edilmektedir (Hosking vd., 2017; Corley, 2022). Prospektif boylamsal çalışmalar; Akdeniz diyeti veya yüksek miktarda sızma zeytinyağı, deniz ürünleri, taze meyve-sebze, kuru baklagiller, kümes hayvanları, başta fermente ürünler olmak üzere süt türevleri ve işlenmemiş yağsız et içeren beslenme örüntüleri ile depresyon riski arasında güçlü bir ters korelasyon bulunduğunu ısrarla vurgulamaktadır (Miyake vd., 2015).

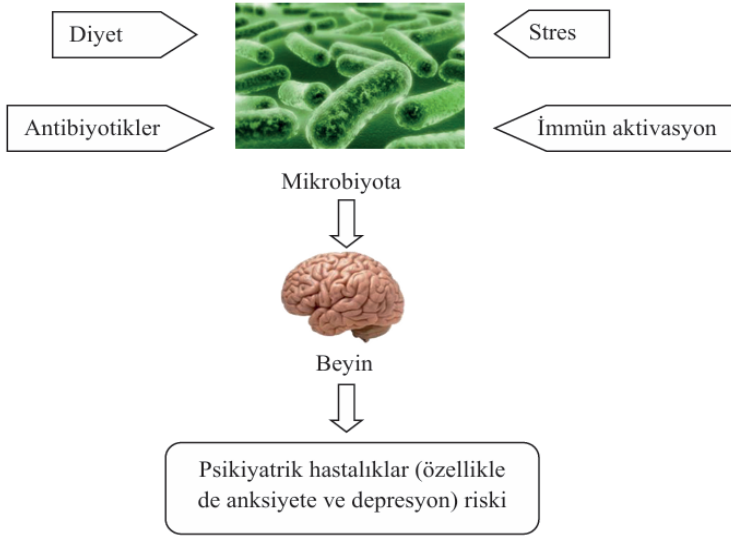
Mikrobiyota iyileştirici beslenme

İnsan vücudunda bağırsaklarda yaşayan kommensal, sinbiyotik ve patojen özellikli mikroorganizmalar topluluğuna bağırsak mikrobiyotası denir. Mikrobiyom, mikrobiyotada bulunan gen ve genomların tamamının toplamını ifade etmektedir. Kanıta dayalı çalışmalar beyin sağlığı ile bağırsak mikrobiyotası arasında çift yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Beyin-bağırsak aksında vagus siniri etkin rol oynamaktadır ve burada salgılanan kortizol ile hipotalamus-hipofiz-adrenal (HPA) aksı hormonları bu aksı düzenlemektedir (O'Mahony vd., 2015; Chudzik vd., 2021; Özkorucuklu & Öngün Yılmaz, 2024).

Mikrobiyotanın psikolojik olarak ortaya çıkan davranışlara etkisinin bakteri kaynaklı olarak; serotonin, katekolaminler, nörohormonlar,

kortizol, kortikosteron, adreno kortikosteron, kortikotropin gibi stres kökenli hormonlara bağlı olduğu düşünülmektedir (Chudzik vd., 2021).

Spesifik olarak anksiyete ve depresyon riskinin beslenme örüntüsü ile birlikte mikrobiyotadan etkilendiği öngörülmektedir. Mikrobiyota ve psikiyatrik hastalık ilişkisi ve sebep olan etmenler Şekil 1’de gösterilmektedir (Luna & Foster, 2015).



Şekil 1. Mikrobiyota Yoluyla Barsak-Beyin Aksisini Etkileyen Faktörler (Luna & Foster, 2015)

Bağırsak-beyin aksını düzenleyen metabolitler arasında probiyotikler de bulunmakta ve probiyotiklerin serotonin metabolizmasında meydana getirdikleri etki ile antidepresan etki gösterebilecekleri belirtilmektedir. Serotoninin %90’ı bağırsaklarda salgılanmaktadır. Bağırsaklarda üretilen serotoninin beyin ile iletişimi, plazmada bulunan triptofan seviyeleri, vagus siniri ve enterik sinir sistemi aracılığı ile olabilmektedir. Triptofan serotonine dönüşebilmekte veya İndolamin-2,3-dioksijenaz (IDO) ve Triptofan 2,3-dioksijenaz (TDO) enzimleri etkisiyle triptofan kinürenin yoluna yönlendirilmektedir. Kinürenin nörotransmitter dengesini bozabilmekte, nöroenflamasyona sebep olabilmekte, buna bağlı beyin fonksiyonlarında problemler ve depresyon görülebilmektedir (Chudzik vd., 2021).

Besinlerin gastrointestinal sistemde gerçekleştirdiği mikrobiyal fermentasyonu sonucunda üretilen fonksiyonel, konakçıya sağlık yararı sağlayan moleküllere postbiyotikler denmektedir. Postbiyotiklerin, probiyotiklere benzer etkiler göstermelerinin yanı sıra nörotransmitter salınımını desteklediği; stres koşullarında hipotalamik-hipofiz-adrenal (HPA) aksının homeostazını koruyarak ruh sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecek mekanizmalara sahip olduğu bildirilmektedir (Pandey vd., 2022).

Uluslararası Probiyotikler ve Prebiyotikler Bilimsel Derneği (ISAAP) tanımına göre konakçı mikroorganizmaları tarafından seçici olarak kullanılan ve konakçıya sağlık yararı sağlayan substratlara prebiyotik denmektedir (Gibson vd., 2017). Sarımsak, yer elması, hurma vb. besinler prebiyotik etkiye sahip bileşenlerin başlıca örneklerindendir. Yürütülen pek çok deneysel çalışma, bu besinlerin psikolojik bozuklukların şiddetini azaltmada etkili olduğunu vurgulamaktadır (Sanders vd., 2019).

2019 yılında 60 katılımcı ile yapılan çift kör çalışmada, 24 hafta boyunca bir gruba *Lactobacillus gasseri* tableti, kontrol grubuna ise plasebo tableti verilmiştir. Çalışma sonunda müdahale grubunun uyku kalitesinin arttığı ve kaygı bozukluğunun önemli ölçüde azaldığı ancak altta yatan mekanizmanın belirsiz olduğu belirtilmiştir (Nishida vd., 2019).

Başka bir çalışmada, 241 sağlıklı birey farklı dozlarda *Lactobacillus paracasei* uygulanan gruplar ile plasebo grubuna ayrılmış ve 12 hafta süresince müdahale gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, *Lactobacillus paracasei* verilen gruplarda stres kaynaklı negatif duygudurumunun, kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir (Murata vd., 2018). Kazemi vd. (2019) tarafından majör depresyon tanısı almış 110 birey üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, katılımcılar üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruba probiyotik (*Lactobacillus helveticus* ve *Bifidobacterium longum*), ikinci gruba prebiyotik (galaktooligosakkaritler) ve üçüncü gruba plasebo uygulanmış; tüm katılımcılar standart antidepresan tedavi almaya devam etmiştir. Çalışma sonucunda, probiyotik ve prebiyotik takviyesi alan katılımcıların Beck Depresyon Envanteri (BDE) puanlarında başlangıç değerlerine kıyasla iyileşme gözlenmiş, ancak ağır depresyon vakalarında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Vejetaryen/vegan beslenme

Vejetaryen beslenme modelinde bitkisel ürünler ile birlikte kısmi hayvansal gıdalar yer almaktadır. Vegan beslenme modelinde ise sadece sebze, meyve ve tahıllara yer verilmekte ve tüm hayvansal ürünler hariç tutulmaktadır. Bu beslenme modelleri sürdürülebilir beslenme modelleri arasında yer almakta ve çevresel ekosistemin korunmasına katkı sağlamaktadır (Gerber vd., 2013; Chai vd., 2019).

Vejetaryen bireyler (özellikle süt ürünü, yumurta veya pesko-vejetaryen diyetle olduğu gibi balık tüketenler), mikro besin öğelerini veganlara kıyasla nispeten daha dengeli alabilmektedir. Buna karşın, vegan beslenme düzenini benimsemiş kişilerde, hayvansal gıdaların tamamen eliminasyonu nedeniyle B12 vitamini ve uzun zincirli omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri yetersizlikleri sıklıkla gözlemlenmektedir. Her iki besin ögesi de beyin fonksiyonlarını desteklediği için yetersizliği depresyon riskinin artma nedeni olarak düşünülmekte ve vegan beslenen kişilerde vejetaryen olanlara göre daha fazla depresyon riski görülebileceği ifade edilmektedir (Clarys vd., 2014).

Vejetaryen beslenme ve depresyon puanları arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla yapılan bir meta-analiz çalışmasında, vejetaryen beslenme planını benimseyen kişilerin depresyon puanlarının daha yüksek olduğunu belirtilmektedir (Ocklenburg & Borawski, 2021).

Öte yandan, Avustralya’da vegan ve vejetaryen bireylerde bitkisel diyet lif kalitesi ile depresif semptomlar arasındaki ilişkinin incelendiği kesitsel bir araştırmada; yüksek kaliteli diyet lifi alımının depresif semptomlarda azalma sağladığı, lif alımı azaldıkça semptom şiddetinin arttığı gözlenmiştir. Diyet kalitesinin, klinik olarak depresyon tanısı olmayan bireylerde semptom gelişimi açısından koruyucu bir etkiye sahip olduğu belirlenirken; mevcut bir depresyon tablosuna sahip olan bireylerde bitkisel kaynaklı diyet kalitesinin herhangi bir terapötik etkisinin bulunup bulunmadığı net olarak belirlenememiştir (Lee vd., 2021).

Askari vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, vejetaryen beslenme ile depresyon, anksiyete ve psikolojik stres arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla gözlemsel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, vejetaryen beslenmenin depresyon riski ile anlamlı düzeyde ilişkili olduğu ve

depresyon riskini artırabileceği bildirilmiş; ancak bu ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için ileri düzey çalışmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada, vejetaryen beslenme ve depresyon arasında bir ilişki olduğu ve bu ilişkinin beslenme eksikliklerine bağlı olarak çıktığı düşünülmektedir (Tokpunar, 2024). Buna karşın gerçekleştirilen farklı çalışmalarda ise vejetaryen beslenme ile depresyon arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirtilmektedir (Askari vd., 2020; Fazelian vd., 2022; Tokpunar, 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Psikolojik bozukluklar, artan prevalansları ile dünya çapında öncelikli bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Bu bozukluklar açısından risk faktörlerinin belirlenmesi ve bu faktörlere müdahale edilebilmesi amacıyla yenilikçi ve bütüncül stratejilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, beslenmeye yönelik faktörler ile psikolojik sağlık arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmeyi amaç edinen “beslenme psikolojisi” alanına yönelik çalışmalara ilgi artmaktadır.

Beslenme davranışı yalnızca fizyolojik gereksinimler doğrultusunda şekillenmemekte; duyuşsal algı, duygudurum, stres düzeyi, sosyal ilişkiler, öğrenilmiş deneyimler ve çevresel koşulların karşılıklı etkileşiminden etkilenmektedir. Tat, koku, doku, görünüm ve diğer duyuşsal özellikler besinlerin kabul edilmesini ve tercih edilmesini belirlerken, sosyal izolasyon ve yalnızlık öğün düzeninin bozulması ve besin çeşitliliğinin azalmasıyla ilişkili olabilmektedir. Stres, depresif belirtiler ve kaygı ise bireysel özelliklere bağlı olarak iştahın azalmasına veya enerji yoğun besinlere yönelimin ve duyuşsal yemenin artmasına neden olabilmektedir. Duygu düzenleme güçlüğü, dürtüsellik, yetersiz uyku, katı diyet kısıtlamaları, olumsuz beden algısı, kilo damgalaması ve aile içinde besinin ödül veya yatıştırma aracı olarak kullanılması, duyuşsal yeme davranışının sürdürülmesinde rol oynayan etmenler arasında yer almaktadır. Bu nedenle beslenme davranışının değerlendirilmesinde yalnızca tüketilen besinlerin miktarı ve türü değil, bireyin yeme davranışını başlatan duyuşsal, psikolojik ve sosyal koşullar da dikkate alınmalıdır. Ayrıca besinlerin duyuşsal özellikleri ile tüketici kabulünün bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi, sağlıklı ve özel beslenme uygulamalarının sürdürülebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Özel beslenme mühendisliği kapsamında değerlendirilen özel beslenme türlerinden glütensiz beslenmenin, psikolojik hastalığı bulunan bireylerde psikolojik sağlık ve duygudurum üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği, depresyon ve anksiyete düzeylerinde anlamlı azalmalarla ilişkili olduğu; ancak sağlıklı bireylerde etkisinin net olarak ortaya konulabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Ketojenik beslenmenin nörolojik hastalıklar üzerine olumlu etkileri uzun süredir bilinmektedir. Depresyon, anksiyete, duygudurum bozukluklarının düzeltilebilmesi açısından beslenme düzeninin ketojenik beslenme fraksiyonları şeklinde düzenlenmesinin psikolojik sağlık açısından olumlu sonuçlar verdiği çalışmalarla desteklenmektedir.

Laktozsuz beslenme türünün, laktoz intoleransı veya hassasiyeti bulunan bireylerde duygudurum üzerinde iyileştirici etkiler gösterebildiği; laktoz tüketimiyle ilgili bir sorunu olmayan bireylerde ise fermente süt ürünlerinin tüketiminin benzer şekilde duygudurum, depresyon ve anksiyete gibi psikolojik semptomları azaltabileceği çalışmalarla bildirilmektedir.

Akdeniz tipi beslenme ve modifiye Akdeniz tipi beslenme modellerinin, genel sağlık durumunun sürdürülmesi, depresyon ve duygudurum bozukluklarının seyrini iyileştirdiği ve semptomları azalttığı literatür ile desteklenmektedir.

Mikrobiyotada yer alan yararlı bakteri popülasyonunun desteklenmesine yönelik beslenme yaklaşımlarının; duygudurumun iyileştirilmesi, depresyonun önlenmesi, anksiyete semptomlarının azaltılması ile Alzheimer ve demans gibi nörodejeneratif hastalıkların riskinin düşürülmesinde etkili olabilmektedir. Prebiyotikler ve psikobiyotikler gibi yararlı bakteri gelişimini destekleyen besin bileşenlerini içeren bu beslenme yaklaşımı psikolojik sağlığı olumlu yönde etkilemektedir.

Vejetaryen beslenme kısmen psikolojik sağlık üzerine olumlu etkilere sahip olmasına rağmen, vegan beslenmede hayvansal gıdaların tamamen elimine edilmesi, fiziksel ve psikolojik açıdan bazı besin öğelerinin yeterli alınamaması sebebiyle birtakım sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunlar takviyeler ile desteklenebilir görüşleri de bulunmaktadır ancak hala çok sayıda çalışma ile desteklenmeye ihtiyaç duyan bir beslenme modeli olarak görülmektedir.

Tüm bu diyet yaklaşımları içerisinde en çok Akdeniz tipi ve ketojenik beslenme modelleri, duygudurum bozuklukları ve psikolojik hastalıklar çerçevesinde tercih edilmektedir. Benzer şekilde fermente gıdaların bulunduğu beslenme tarzında, laktozsuz beslenme modeli ve aynı zamanda mikrobiyota iyileştirici beslenme psikolojik sağlığı desteklemek açısından önem arz etmektedir. Psikolojik sağlık ile beslenme örüntüsü, diyet arasındaki ilişkiye yönelik çeşitli diyet modelleri uygulanmasına rağmen hala bu alana yönelik yüksek kanıt düzeyinde çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akın, N., Gündüz, A., & Konak, Ç. (2012). Teknolojik Açıdan Süt Ürünlerinde Laktoz Dönüşümleri ve İntoleransı. *Akademik Gıda*, 10(4), 77-84. <https://izlik.org/JA42CC96XF>
- Alpay, K., Ertaş, M., Orhan, E. K., Üstay, D. K., Lieners, C., & Baykan, B. (2010). Diet restriction in migraine, based on IgG against foods: A clinical double-blind, randomised, cross-over trial. *Cephalalgia*, 30(7), 829-837. <https://doi.org/10.1177/0333102410361404>
- Aranburu, E., Matias, S., Simón, E., Larretxi, I., Martínez, O., Bustamante, M. Á., Fernández-Gil, M. D. P., & Miranda, J. (2021). Gluten and FODMAPs relationship with mental disorders: Systematic review. *Nutrients*, 13(6), 1894. <https://doi.org/10.3390/nu13061894>
- Ardekani, A., Vahdat, S., Hojati, A., Moradi, H., Tousi, A.Z., Ebrahimzadeh, F., & Farhangi, M.A. (2023). Evaluating the association between the Mediterranean DASH intervention for neurodegenerative delay (MIND) diet, mental health, and cardio-metabolic risk factors among individuals with obesity. *BMC Endocrine Disorders*, 23(1), 29.
- Arexis, M., Feron, G., Brindisi, M. C., Billot, P. E., & Chambaron, S. (2023). A scoping review of emotion regulation and inhibition in emotional eating and binge-eating disorder: What about a continuum?. *Journal of Eating Disorders*, 11, 197. <https://doi.org/10.1186/s40337-023-00916-7>
- Askari, M., Daneshzad, E., Darooghegi Mofrad, M., Bellissimo, N., Sutor, K., & Azadbakht, L. (2022). Vegetarian diet and the risk of depression, anxiety, and stress symptoms: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 261-271. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1814991>
- Auvray, M., & Spence, C. (2008). The multisensory perception of flavor. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 1016-1031. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.06.005>
- Balakireva, A. V., & Zamyatnin, A. A. (2016). Properties of gluten intolerance: Gluten structure, evolution, pathogenicity and detoxification capabilities. *Nutrients*, 8(10), 644. <https://doi.org/10.3390/nu8100644>
- Bayes, J., Schloss, J., & Sibbritt, D. (2020). Effects of polyphenols in a Mediterranean diet on symptoms of depression: A systematic literature review. *Advances in Nutrition*, 11(3), 602-615.
- Benjamin Niland, B., & Cash, B. D. (2018). Health benefits and adverse effects of a gluten-free diet in non-celiac disease patients. *Gastroenterology & Hepatology*, 14(2).
- Boesveldt, S., & de Graaf, K. (2017). The differential role of smell and taste for eating behavior. *Perception*, 46(3-4), 307-319. <https://doi.org/10.1177/0301006616685576>
- Bonder, M.J., Tigchelaar, E.F., Cai, X., Trynka, G., Cenit, M.C., Hrdlickova, B., Zhong, H., Vatanen, T., Gevers, D., Wijmenga, C., Wang, Y., & Zhernakova, A. (2016). The influence of a short-term gluten-free diet on the human gut microbiome. *Genome Medicine*, 8(1):45. <http://doi.org/10.1186/s13073-016-0295-y>
- Brietzke, E., Mansur, R. B., Subramaniapillai, M., Balanzá-Martínez, V., Vinberg, M., González-Pinto, A., Rosenblat, J. D., Ho, R., & McIntyre, R. S. (2018). Ketogenic diet as a metabolic therapy for mood disorders: Evidence and developments. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 94, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.07.020>
- Broom, G. M., Shaw, I. C., & Rucklidge, J. J. (2019). The ketogenic diet as a potential treatment and prevention strategy for Alzheimer's disease. *Nutrition*, 60, 118-121. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.10.003>
- Cady, R. K., Farmer, K., Dexter, J. K., & Hall, J. (2012). The bowel and migraine: Update on celiac disease and irritable bowel syndrome. *Current Pain and Headache Reports*, 16(3):278-286. <http://doi.org/10.1007/s11916-012-0258-y>

- Casacalenda, N., Perry, J. C., & Looper, K. (2002). Remission in major depressive disorder: A comparison of pharmacotherapy, psychotherapy, and control conditions. *American Journal of Psychiatry*, 159(8), 1354-1360. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.159.8.1354>
- Casertano, M., Fogliano, V. & Ercolini, D. (2022). Psychobiotics, gut microbiota and fermented foods can help preserving mental health. *Food Research International*, 152, 110892.
- Chai, B. C., van der Voort, J. R., Grofelnik, K., Eliasdottir, H. G., Klöss, I., & Perez-Cueto, F. J. (2019). Which diet has the least environmental impact on our planet? A systematic review of vegan, vegetarian and omnivorous diets. *Sustainability*, 11(15), 4110. <https://doi.org/10.3390/su11154110>
- Chen, H., Cao, Z., Hou, Y., Yang, H., Wang, X., & Xu, C. (2023). The associations of dietary patterns with depressive and anxiety symptoms: A prospective study. *BMC Medicine*, 21, 307. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03019-x>
- Chen, P. J., & Antonelli, M. (2020). Conceptual models of food choice: Influential factors related to foods, individual differences, and society. *Foods*, 9(12), 1898. <https://doi.org/10.3390/foods9121898>
- Chen, Y., Liu, Y., & Feng, X. (2023). Food perception: Taste, smell and flavour. *Foods*, 12(19), 3628. <https://doi.org/10.3390/foods12193628>
- Chilton, S. N., Burton, J. P., & Reid, G. (2015). Inclusion of fermented foods in food guides around the world. *Nutrients*, 7(1), 390-404. <https://doi.org/10.3390/nu7010390>
- Chisholm, D., Sweeny, K., Sheehan, P., Rasmussen, B., Smit, F., Cuijpers, P., & Saxena, S. (2016). Scaling-up treatment of depression and anxiety: A global return on investment analysis. *Lancet Psychiatry*, 3(5), 415-424.
- Chudzik, A., Orzyłowska, A., Rola, R., & Stanisław, G. J. (2021). Probiotics, prebiotics and postbiotics on mitigation of depression symptoms: Modulation of the brain- gut- microbiome. *Biomolecules*, 11, 2-26.
- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyser, W., Hebbelinck, M., & Mullie, P. (2014). Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients*, 6(3), 1318-1332. <https://doi.org/10.3390/nu6031318>
- Corley, J. (2022). Adherence to the MIND diet is associated with 12-year all-cause mortality in older adults. *Public Health Nutrition*, 25(2), 358-367. <https://doi.org/10.1017/S1368980020002979>
- Dakanalis, A., Mentzelou, M., Papadopoulou, S. K., Papandreou, D., Spanoudaki, M., Vasios, G. K., Pavlidou, E., Mantzorou, M., & Giaginis, C. (2023). The association of emotional eating with overweight/obesity, depression, anxiety/stress, and dietary patterns: A review of the current clinical evidence. *Nutrients*, 15(5), 1173. <https://doi.org/10.3390/nu15051173>
- De Palma, G., Nadal, I., Collado, M. C. & Sanz, Y. (2009). Effects of a gluten-free diet on gut microbiota and immune function in healthy adult human subjects. *British Journal of Nutrition*, 102(8), 1154-1160. <https://doi.org/10.1017/S0007114509371767>
- Del Toro-Barbosa, M., Hurtado-Romero, A., García-Amezquita, L. E., & García-Cayuela, T. (2020). Psychobiotics: Mechanisms of action, evaluation methods and effectiveness in applications with food products. *Nutrients*, 12(12), 3896. <https://doi.org/10.3390/nu12123896>
- Diepeveen, J., Moerdijk-Poortvliet, T. C. W., & van der Leij, F. R. (2022). Molecular insights into human taste perception and umami tastants: A review. *Journal of Food Science*, 87(4), 1449-1465. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16101>
- Dohan, F. C., (1966). Cereals And Schizophrenia Data And Hypothesis. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 42(2):125-152. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1966.tb01920.x>

- Drake, M. A., Watson, M. E., & Liu, Y. (2023). Sensory analysis and consumer preference: Best practices. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14, 427–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-023619>
- Elder, J. H., Shankar, M., Shus Ter, J., Theriaque, D., Burns, S., & Sherrill, L., (2006). A Gluten-Free, Casein-Free Diet In Autism: Results of A Preliminary Double Blind Clinical Trial. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(3):413-420
- Ergün, C., Urhan, M., & Ayer, A. (2018). A review on the relationship between gluten and schizophrenia: Is gluten the cause?. *Nutritional neuroscience*, 21(7), 455–466. <https://doi.org/10.1080/1028415X.2017.1313569>
- Fatme, A. (2020). Role of nutritional psychiatry as an unorthodox approach to tackle the global burden of mental diseases. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 70(10), 1874.
- Fazelian, S., Sadeghi, E., Firouzi, S., & Haghighatdoost, F. (2022). Adherence to the vegetarian diet may increase the risk of depression: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Nutrition Reviews*, 80(2), 242–254. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab013>
- Firth, J., Teasdale, S. B., Allott, K., Siskind, D., Marx, W., Cotter, J., Veronese, N., Schuch, F., Smith, L., Solmi, M., Carvalho, A. F., Vancampfort, D., Berk, M., Stubbs, B., & Sarris, J. (2019). The efficacy and safety of nutrient supplements in the treatment of mental disorders: a meta-review of meta-analyses of randomized controlled trials. *World psychiatry: official journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, 18(3), 308–324. <https://doi.org/10.1002/wps.20672>
- Forestell, C. A. (2017). Flavor perception and preference development in human infants. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 70(Suppl. 3), 17–25. <https://doi.org/10.1159/000478759>
- Gao, M., Kirk, M., Knight, H., Lash, E., Michalopoulou, M., Guess, N., Stevens, R., Browning, M., Weich, S., Burnet, P. W. J., Jebb, S. A., & Aveyard, P. (2026). A ketogenic diet for treatment-resistant depression: A randomized clinical trial. *JAMA Psychiatry*, 83(4), 331–340. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2025.4431>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133417883>
- 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., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Ha, O. R., & Lim, S. L. (2023). The role of emotion in eating behavior and decisions. *Frontiers in Psychology*, 14, 1265074. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1265074>
- Hanna, K. L., & Collins, P. F. (2015). Relationship between living alone and food and nutrient intake. *Nutrition Reviews*, 73(9), 594–611. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv024>
- Hanna, K., Cross, J., Nicholls, A., & Gallegos, D. (2023). The association between loneliness or social isolation and food and eating behaviours: A scoping review. *Appetite*, 191, 107051. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107051>
- Hemert, S. V., Breedveld, A. C., Ro Vers, J. M., Vermeiden, J. P., Wit Teman, B. J., Smits, M. G., & Roos, N. M., (2014). Migraine Associated with Gastrointestinal Disorders: Review of the Literature and Clinical Implications. *Frontiers in Neurology*, 5, 241. <http://doi.org/10.3389/fneur.2014.00241>
- Hill, D., Conner, M., Clancy, F., Moss, R., Wilding, S., Bristow, M., & O'Connor, D. B. (2022). Stress and eating behaviours in healthy adults: A systematic review and meta-analysis.

- Health Psychology Review*, 16(2), 280–304.
<https://doi.org/10.1080/17437199.2021.1923406>
- Hosking, D. E., Eramudugolla, R., & Anstey, K. J. (2017). The MIND diet is associated with reduced incidence of 12-year cognitive impairment in an Australian setting. *Alzheimer's & Dementia*, 13, 1429–1430. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2017.06.2234>
- Jacka, F. N., O'Neil, A., Opie, R., Itsiopoulos, C., Cotton, S., Mohebbi, M., Castle, D., Dash, S., Mihalopoulos, C., Chatterton, M. L., Brazionis, L., Dean, O. M., Hodge, A. M., & Berk, M. (2017). A randomised controlled trial of dietary improvement for adults with major depression (the 'SMILES' trial). *BMC medicine*, 15(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12916-017-0791-y>
- Jansen, P. W., Derks, I. P. M., Mou, Y., van Rijen, E. H. M., Gaillard, R., Micali, N., Voortman, T., & Hillegers, M. H. J. (2020). Associations of parents' use of food as reward with children's eating behaviour and BMI in a population-based cohort. *Pediatric Obesity*, 15(11), e12662. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12662>
- Janssen-Aguilar, R., Vije, T., Peera, M., Al-Shamali, H. F., Meshkat, S., Lin, Q., Lou, W., Laviada-Molina, H., Phillips, M. L., & Bhat, V. (2026). Ketogenic diets and depression and anxiety: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, 83(1), 13–22. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2025.3261>
- Jorm, A. F., Patten, S. B., Brugha, T. S., & Mojtabai, R. (2017). Has increased provision of treatment reduced the prevalence of common mental disorders? Review of the evidence from four countries. *World Psychiatry*, 16(1), 90–99. <https://doi.org/10.1002/wps.20388>
- Karakuła-Juchnowicz, H., Szachta, P., Opolska, A., Moryłowska-Topolska, J., Gałęcka, M., Juchnowicz, D., Krukow, P., & Lasik, Z. (2017). The role of IgG hypersensitivity in the pathogenesis and therapy of depressive disorders. *Nutritional neuroscience*, 20(2), 110–118. <https://doi.org/10.1179/1476830514Y.00000000158>
- Kazemi, A., Noorbala, A. A., Azam, K., Eskandari, M. H., & Djafarian, K. (2019). Effect of probiotic and prebiotic vs placebo on psychological outcomes in patients with major depressive disorder: A randomized clinical trial. *Clinical Nutrition*, 38, 522–528. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.04.010>
- Kılıç, C. (2020). Türkiye'de ruhsal hastalıkların yaygınlığı ve ruhsal tedavi ihtiyacı konusunda neredeyiz? *Toplum ve Hekim*, 35(3), 179–187.
- Köksal, G., & Gökmen, H. (2000). *Çocuk hastalıklarında beslenme tedavisi* (ss. 271–278). 1. Baskı. Ankara: Hatipoğlu Yayınevi.
- Lang, U. E., & Borgwardt, S. (2013). Molecular mechanisms of depression: Perspectives on new treatment strategies. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 31(6), 761–777. <https://doi.org/10.1159/000350094>
- Lassale, C., Batty, G. D., Baghdadli, A., Jacka, F., Sánchez-Villegas, A., Kivimäki, M., & Akbaraly, T. (2019). Healthy dietary indices and risk of depressive outcomes: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Molecular Psychiatry*, 24, 965–986.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (2. Baskı). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Lee, M. F., Eather, R., & Best, T. (2021). Plant-based dietary quality and depressive symptoms in Australian vegans and vegetarians: a cross-sectional study. *BMJ Nutrition, Prevention & Health*, 4(2), 479. <https://doi.org/10.1136/bmjnph-2021-000332>
- Levinson, J. A., Kinkel-Ram, S., Myers, B., & Hunger, J. M. (2024). A systematic review of weight stigma and disordered eating cognitions and behaviors. *Body Image*, 48, 101678. <https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2023.101678>
- Lilamand, M., Mouton-Liger, F., & Paquet, C. (2021). Ketogenic diet therapy in Alzheimer's disease: an updated review. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 24(4), 372–378. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000759>

- Liu, D., Deng, Y., Sha, L., Hashem, M. A. & Gai, S. (2017). Impact of oral processing on texture attributes and taste perception. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2585–2593. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2661-1>
- Luang-In, V., Katisart, T., Konsue, A., Nudmamud-Thanoi, S., Narbad, A. & Saengha, W. (2020). Psychobiotic effects of multi-strain probiotics originated from Thai fermented foods in a rat model. *Food Science of Animal Resources*, 40(6), 1014–1032. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e72>
- Luna, R. A., & Foster, J. A., (2015). Gut brain axis: diet microbiota interactions and implications for modulation of an xiety and depression. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 35-41. <http://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.10.007>
- Mamalaki, E., Ntanası, E., Hatzımanolıs, A., Basta, M., Kosmidıs, M. H., Dardıotıs, E., Hadjıgeorgıou, G. M., Sakka, P., Scarmeas, N., & Yannakoulıa, M. (2023). The Association of Adherence to the Mediterranean Diet with Depression in Older Adults Longitudinally Taking into Account Cognitive Status: Results from the HELIAD Study. *Nutrients*, 15(2), 359. <https://doi.org/10.3390/nu15020359>
- Marques, C., Correia, E., Dinis, L. T., & Vilela, A. (2022). An overview of sensory characterization techniques: From classical descriptive analysis to the emergence of novel profiling methods. *Foods*, 11(3), 255. <https://doi.org/10.3390/foods11030255>
- Martins, J. G., Bentsen, H., & Puri, B. K. (2012). Eicosapentaenoic acid appears to be the major omega-3 fatty acid component associated with efficacy in major depressive disorder: Bloch and Hannestad's review and updated meta-analysis. *Molecular Psychiatry*, 17, 1144-1149.
- McAtamney, K., Mantzios, M., Egan, H., & Wallis, D. J. (2023). A systematic review of the relationship between alexithymia and emotional eating in adults. *Appetite*, 180, 106279. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106279>
- Melini, V., & Melini, F. (2019). Glütten-free diet: Gaps and needs for a healthier diet. *Nutrients*, 11(1), 170. <http://doi.org/10.3390/nu11010170>
- Metin, S., (2016). Çölyak Hastalığının da Nutrisyon. *Güncel Gastroenteroloji*, 20(3), 259-262.
- Miyake, Y., Tanaka, K., Okubo, H., Sasaki, S., & Arakawa, M. (2015). Intake of dairy products and calcium and prevalence of depressive symptoms during pregnancy in Japan: A cross-sectional study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 122(3), 336–343. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.12972>
- Mohorko, N., Černelič-Bizjak, M., Poklar-Vatovec, T., Grom, G., Kenig, S., Petelin, A., & Jenko-Pražnikar, Z. (2019). Weight loss, improved physical performance, cognitive function, eating behavior, and metabolic profile in a 12-week ketogenic diet in obese adults. *Nutrition Research*, 62, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.007>
- Murata, M., Kondo, J., Iwabuchi, N., Takahashi, S., Yamauchi, K., Abe, F., & Miura, K. (2018). Effects of paraprobiotic *Lactobacillus paracasei* MCC1849 supplementation on symptoms of the common cold and mood states in healthy adults. *Beneficial Microbes*, 9, 855-864.
- Neth, B. J., Mintz, A., Whitlow, C., Jung, Y., Solingapuram Sai, K., Register, T. C., Kellar, D., Lockhart, S. N., Hoscheidt, S., Maldjian, J., Heslegrave, A. J., Blennow, K., Cunnane, S. C., Castellano, C. A., Zetterberg, H., & Craft, S. (2020). Modified ketogenic diet is associated with improved cerebrospinal fluid biomarker profile, cerebral perfusion, and cerebral ketone body uptake in older adults at risk for Alzheimer's disease: A pilot study. *Neurobiology of Aging*, 86, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.015>
- Nishida, K., Sawada, D., Kuwano, Y., Tanaka, H., & Rokutan, K. (2019). Health benefits of *Lactobacillus gasseri* CP2305 tablets in young adults exposed to chronic stress: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Nutrients*, 11, 1859.
- Ocklenburg, S., & Borawski, J. (2021). Vegetarian diet and depression scores: a meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 294, 813-815. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.07.098>

- O'Mahony, S. M., Clarke, G., Borre, Y. E., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2015). Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. *Behavioral Brain Research*, 277, 32-48. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.07.027>
- Opie, R. S., Itsiopoulos, C., Par Letta, N., Sanchez-Villegas, A., Akbaraly, T. N., Ruusunen, A., & Jacka, F. N., (2016). Dietary re commendations for the prevention of depression. *Nutritional Neuroscience*, 20(3),161-171. <http://doi.org/10.1179/1476830515Y.00000000043>
- Opie, R. S., O'neil, A., Itsiopoulos, C., & Jacka, F. N., (2015). The impact of whole-of-diet interventions on dep resion and anxiety: a systematic review of randomised controlled trials. *Public Health Nutrition*, 18(11):2074-2093. <http://doi.org/10.1017/S1368980014002614>
- Ömür, S., & Kalkan, İ. (2023). Fermente Besinlerin Beyin-Bağırsak Eksenini ve Psikiyatrik Bozukluklara Etkisi. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8 (3), 1087-1093. <https://doi.org/10.61399/ikcusbfd.1246338>
- Özkorucuklu, Y. N., & Öngün Yılmaz, H. (2024). Beslenme psikiyatrisi. İçinde *Sağlık bilimleri alanında gelişmeler: Ruhsal bozukluklarda beslenme müdahaleleri* (ss. 95–110). Palatanus Yayın Grubu. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14576337>
- Pandey, M., Bhati, A., Priya, K., Sharma, K. K., & Singhal, B. (2022). Precision postbiotics and mental health: The management of post-COVID-19 complications. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 14(3), 426-448.
- Parletta, N., Zarnowiecki, D., Cho, J., Wilson, A., Bogomolova, S., Villani, A., Itsiopoulos, C., Niyonsenga, T., Blunden, S., Meyer, B., Segal, L., Baune, B. T., & O'Dea, K. (2019). A Mediterranean-style dietary intervention supplemented with fish oil improves diet quality and mental health in people with depression: A randomized controlled trial (HELFIMED). *Nutritional neuroscience*, 22(7), 474–487. <https://doi.org/10.1080/1028415X.2017.1411320>
- Patrick, R., & Ames, B. (2015). Vitamin D and the omega-3 fatty acids control serotonin synthesis and action, part 2: Relevance for ADHD, bipolar, schizophrenia, and impulsive behavior. *FASEB Journal*, 29(6), 2205-2679.
- Peters, S. L., Biesiekierski, J. R., Yelland, G. W., Muir, J. G., & Gib Son, P. R., (2014). Randomised clinical trial: gluten may cause depression in sub jects with non-coeliac gluten sensitivity – an exploratory randomised clinical study. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 39(10),1104-1112. <http://doi.org/10.1111/apt.12730>
- Phillips, M. C. L., Deprez, L. M., Mortimer, G. M. N., Murtagh, D. K. J., McCoy, S., Mylchreest, R., Gilbertson, L. J., Clark, K. M., Simpson, P. V., McManus, E. J., Oh, J. E., Yadavaraj, S., King, V. M., Pillai, A., Romero-Ferrando, B., Brinkhuis, M., Copeland, B. M., Samad, S., Liao, S., & Schepel, J. A. C. (2021). Randomized crossover trial of a modified ketogenic diet in Alzheimer's disease. *Alzheimer's Research & Therapy*, 13(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s13195-021-00783-x>
- Porcelli, B., Verdino, V., Bossini, L., Terzuoli, L., & Fagiolini, A., (2014). Celiac and non-celiac gluten sen sitivity: a review on the association with schizophrenia and mood disorders. *Auto immunity Highlights*, 5(2), 55–61.
- Rubino, F., Puhl, R. M., Cummings, D. E., Eckel, R. H., Ryan, D. H., Mechanick, J. I., Nadglowski, J., Ramos Salas, X., Schauer, P. R., Twenefour, D., Apovian, C. M., Aronne, L. J., Batterham, R. L., Berthoud, H. R., Boza, C., Busetto, L., Dicker, D., De Groot, M., Eisenberg, D., Flint, S. W., & Dixon, J. B. (2020). Joint international consensus statement for ending stigma of obesity. *Nature medicine*, 26(4), 485–497. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0803-x>
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2021). Sensory analysis and consumer research in new product development. *Foods*, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/foods10030582>

- Sağlık Bakanlığı (2023). Türkiye Ruh Sağlığı Profili-2 Araştırması Sonuç Raporu. Türkiye’de Ruhsal Hastalıkların Yaygınlığı ve Ruhsal Tedavi İhtiyacının Belirlenmesi Amacıyla En Son Tanı Kriterlerini Kullanan Objektif ve Güvenilir Psikiyatrik Tanı Konmasını Sağlayacak Ölçüm Araçlarının Geliştirilmesi Araştırması. (s.1-120). Ankara: Hacettepe Üniversitesi
- Salari-Moghaddam, A., Keshteli, A.H., Mousavi, S.M., Afshar, H., Esmailzadeh, A., & Adibi, P. (2019). Adherence to the MIND diet and prevalence of psychological disorders in adults. *Journal of Affective Disorders*, 256, 96-102.
- Saltık Temizel, İ. (2016). Kronik ishal. H. Özen, A. Yüce, F. Gürakan, İ. Saltık Temizel & H. Demir (Ed.), *Çocuk gastroenteroloji, hepatoloji ve beslenme* (3. baskı, ss. 63–69) içinde. Akademi Yayınevi.
- 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, 605-616.
- Sarris, J., Logan, A. C., Akbaraly, T. N., Paul Amminger, G., Balanzá-Martínez, V., Freeman, M. P., Hibbeln, J., Matsuoka, Y., Mischoulon, D., Mizoue, T., Nanri, A., Nishi, D., Parletta, N., Ramsey, D., Rucklidge, J. J., Sanchez-Villegas, A., Scholey, A., Su, K. P., & Jacka, F. N. (2015). International Society for Nutritional Psychiatry Research consensus position statement: nutritional medicine in modern psychiatry. *World psychiatry: official journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, 14(3), 370–371. <https://doi.org/10.1002/wps.20223>
- Serin, Y., & Akbulut, G. (2017). Çölyak hastalığı ve glütensiz diyet tedavisine güncel yaklaşım. *Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 192-200. <http://doi.org/10.5336/healthsci.2016-53640>
- Sethi, S., & Ford, J. M. (2022). The role of ketogenic metabolic therapy on the brain in serious mental illness: A review. *Journal of Psychiatry and Brain Science*, 7(5), e220009.
- Smith, J. M., Ang, X. Q., Giles, E. L., & Triviss-Turner, G. (2023). Emotional eating interventions for adults living with overweight or obesity: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2722. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032722>
- Smith, K. S., Greene, M. W., Babu, J. R., & Frugé, A. D. (2021). Psychobiotics as treatment for anxiety, depression, and related symptoms: A systematic review. *Nutritional Neuroscience*, 24(12), 963–977.
- Sørensen, L. B., Møller, P., Flint, A., Martens, M., & Raben, A. (2003). Effect of sensory perception of foods on appetite and food intake: A review of studies on humans. *International Journal of Obesity*, 27(10), 1152–1166. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802391>
- Stephoe, A., Fong, H. L., & Lassale, C. (2024). Social isolation, loneliness and low dietary micronutrient intake amongst older people in England. *Age and Ageing*, 53(10), afae223. <https://doi.org/10.1093/ageing/afae223>
- Teasdale, S., Morkl, S., & Müller-Stierlin, A. S. (2020). Nutritional psychiatry in the treatment of psychotic disorders: Current hypotheses and research challenges. *Brain, Behavior, and Immunity - Health*, 5.
- Tokpunar, M. (2024). Sürdürülebilir Diyet Modellerinin Depresyon ile İlişkisi: Derleme. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 346-363. <https://izlik.org/JA63CM44CR>
- Torabynasab, K., Shahinfar, H., Jazayeri, S., Effatpanah, M., Azadbakht, L., & Abolghasemi, J. (2023). Adherence to the MIND diet is inversely associated with odds and severity of anxiety disorders: A case-control study. *BMC Psychiatry*, 23, 330.
- Trasser, B., Gostner, J. M., & Fuchs, D. (2016). Mood, food, and cognition: Role of tryptophan and serotonin. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 19(1), 55–61.

- Tutan, N. S., & Yıldırım, İ. G. (2024). Beynin Gizemli Dünyasına Yeni Bir Işık: Ketojenik Diyetin Alzheimer Hastalığındaki Rolü. *Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 9(3), 331-342
- Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı. (2008). Türkiye ruh sağlığı profili araştırması (TRSP-2) raporu. Sağlık Bakanlığı Yayınları.
- Ulusoy, H. G., & Rakıcıoğlu, N. (2019). Glütensiz diyetin sağlık üzerine etkileri. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 47(2), 87–92.
- van Strien, T. (2018). Causes of emotional eating and matched treatment of obesity. *Current Diabetes Reports*, 18, 35. <https://doi.org/10.1007/s11892-018-1000-x>
- Velasco, C., Obrist, M., Petit, O., & Spence, C. (2018). Multisensory technology for flavor augmentation: A mini review. *Frontiers in Psychology*, 9, 26. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00026>
- Vesnaver, E., & Keller, H. H. (2011). Social influences and eating behavior in later life: A review. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, 30(1), 2–23. <https://doi.org/10.1080/01639366.2011.545038>
- Wang, Q. J., Mielby, L. A., Junge, J. Y., Bertelsen, A. S., Kidmose, U., Spence, C., & Byrne, D. V. (2019). The role of intrinsic and extrinsic sensory factors in sweetness perception of food and beverages: A review. *Foods*, 8(6), 211. <https://doi.org/10.3390/foods8060211>
- Wasilewski, A., Zielińska, M., Storr, M., & Fichna, J. (2015). Beneficial effects of probiotics, prebiotics, synbiotics, and psychobiotics in inflammatory bowel disease. *Inflammatory Bowel Diseases*, 21(7), 1674–1682. <https://doi.org/10.1097/MIB.0000000000000364>
- Włodarczyk, A., Cubala, W. J., & Stawicki, M. (2021). Ketogenic diet for depression: A potential dietary regimen to maintain euthymia? *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109, 110257. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2021.110257>
- World Health Organization. (2022). Mental disorders. Retrieved May 11, 2026, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>
- Xu, R. J. (1998). Bioactive peptides in milk and their biological and health implications. *Food Reviews International*, 14(1), 1–16.
- Xu, Y., Zheng, F., Zhong, Q., & Zhu, Y. (2023). Ketogenic diet as a promising non-drug intervention for Alzheimer's disease: Mechanisms and clinical implications. *Journal of Alzheimer's Disease*, 92(4), 1173–1198. <https://doi.org/10.3233/JAD-230002>
- Yang, H., Zhou, X., Xie, L., & Sun, J. (2023). The effect of emotion regulation on emotional eating among undergraduate students in China: The chain mediating role of impulsivity and depressive symptoms. *PLOS ONE*, 18(6), e0280701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280701>
- Yıldırım D., & Özen H. (2017). MEDical Nutrition Therapy in Lactose Intolerance: A Case Report. *Beslenme ve Diyetetik Dergisi*, 45(3), 294-297.
- Yıldırım, E. (2020). Çölyak hastalığı ve glütensiz beslenme. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 175-187. <http://doi.org/10.51123/jgehes.2020.8>
- Zerón-Rugiero, M. F., Díez-Noguera, A., Izquierdo-Pulido, M., & Cambras, T. (2023). Are emotional eating and other eating behaviors the missing link in the relationship between inadequate sleep and obesity? A systematic review. *Nutrients*, 15(10), 2286. <https://doi.org/10.3390/nu15102286>
- Zhang, Y., Zhang, S., Marin-Valencia, I., & Puchowicz, M. A. (2015). Decreased carbon shunting from glucose toward oxidative metabolism in diet-induced ketotic rat brain. *Journal of Neurochemistry*, 132(3), 301–312. <https://doi.org/10.1111/jnc.12965>
- Zopf, Y., Reljic, D., & Dieterich, W. (2018). Dietary effects on microbiota—New trends with gluten-free or paleo diet. *Medical Sciences*, 6(4), 92–105.

- Zylberberg, H. M., Demmer, R. T., Murray, J. A., Greena, P. H., & Leb Wohl, B., (2017). Depression and in somnia among individuals with celiac disease or on a gluten-free diet in the USA: results from a national survey. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*, 29(9), 1091-1096. <http://doi.org/10.1097/MEG.0000000000000932>

ÖZEL BESLENMEDE GIDA GÜVENLİĞİ VE REGÜLASYONLARI

Esra Özyiğit*, Buse Özdere Yılmaz**

GİRİŞ

Gıda güvenliği, günümüzde yalnızca insan sağlığını değil, aynı zamanda gıda ürünlerinin uluslararası ticaretini de etkileyen en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Gıda güvenliği, gıdaların üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda insan sağlığı açısından kabul edilebilir risk seviyelerinde olmasını sağlayan sistematik uygulamalar bütünü olarak ifade edilmektedir. Kodeks Alimentarius Komisyonu (Codex Alimentarius Commission, CAC) ise gıda güvenliğini, "gıdanın kullanım amacına uygun olarak hazırlandığında ve/veya tüketildiğinde tüketiciye zarar vermeyeceğinin güvencesi" olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, gıdanın "tüetime uygunluğu" ile "güvenli" oluşu arasındaki ayrımı netleştirmektedir. Gıda uygunluğu, gıdanın tüketim açısından kabul edilebilirliğini ifade ederken, gıda güvenliği doğrudan sağlık üzerindeki olası zararların önlenmesine odaklanmaktadır (Motarjemi & Lelieveld, 2014). Bu bağlamda gıda güvenliği, tüketici sağlığı üzerinde risk oluşturabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerin tanımlanması, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınmasını kapsamaktadır (Lawley vd., 2015). Gıda güvenliği uygulamalarının yetersizliği, gıda kaynaklı hastalıklara, besin eksikliklerine ve ölümcül salgınlara yol açabilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2024 yılı tahminlerine göre, gıda kaynaklı hastalıklar nedeniyle her yıl yaklaşık 600 milyon kişi hastalanmakta ve 400.000'den fazla kişi yaşamını yitirmektedir. Bu hastalık yükünün yaklaşık %40'ının 5 yaş altı çocuklarda görüldüğü ve her yıl 125.000'e yakın çocuğun gıda kaynaklı hastalıklar nedeniyle hayatını kaybettiği bildirilmektedir (World Health Organization [WHO], 2024). Bu veriler, gıda güvenliğinin insan sağlığının korunmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

* Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Manisa, esra.ozyigit@cbu.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-2579-2828

** Gıda Yüksek Mühendisi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, buseozdere1@gmail.com, ORCID: orcid.org/0009-0007-9929-9522

Özel beslenme ürünlerinde gıda güvenliği, hedef tüketici gruplarının çoğunlukla klinik veya fizyolojik açıdan hassas bireylere yönelik olması nedeniyle genel gıdalara kıyasla daha düşük risk toleransı gerektirmektedir. Özel tıbbi amaçlı gıdalar, bebek ve devam formülleri, takviye edici gıdalar ve kişiselleştirilmiş beslenme uygulamaları; mikrobiyolojik güvenlik, kimyasal kontaminasyon, etiket doğruluğu, formülasyon güvenilirliği ve veri temelli önerilerin doğruluğu açısından çok boyutlu biçimde değerlendirilmesi gereken ürün grupları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle özel beslenme alanında gıda güvenliği, yalnızca ürünün bileşimiyle sınırlı kalmamakta, hedef popülasyonu dikkate alarak bütüncül bir güvenlik yaklaşımını gerekli kılmaktadır.

Bu bölüm kapsamında, özel beslenme ürünleri odağında gıda güvenliği yönetim sistemleri, risk değerlendirme ve risk yönetimi yaklaşımları, ulusal ve uluslararası mevzuat çerçeveleri, özel beslenme gruplarına yönelik düzenlemeler, etiketleme, izlenebilirlik, sağlık beyanları, raf ömrü yönetimi ve yeni teknolojiler kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

Gıda güvenliği yönetim sistemleri ve temel yaklaşımlar

Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları

Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP), gıda zincirinin ham madde temininden tüketimine kadar olan tüm aşamalarında ortaya çıkabilecek biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeleri kaynağında önlemeyi hedefleyen sistematik bir risk yönetim yaklaşımıdır. Son üründe hata tespitine dayanan geleneksel kontrol anlayışının aksine proaktif bir güvenlik altyapısı sunan bu sistem, tehlike analizi, kritik kontrol noktalarının (KKN) saptanması, kritik limitlerin oluşturulması, izleme, düzeltici faaliyetler, dokümantasyon ve kayıt tutma olmak üzere yedi temel ilke doğrultusunda bütüncül olarak yürütülmektedir (Motarjemi & Lelieveld, 2014; Awuchi, 2023; FAO & WHO, 2023).

Birçok ülkede gıda güvenliği otoriteleri, halk sağlığının korunması ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi amacıyla et ve et ürünleri, meyve suları, süt ve süt ürünleri, bebek mamaları, deniz ürünleri ve konserve gıdalar gibi yüksek riskli ürün gruplarında HACCP sisteminin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır (Awuchi, 2023). Özel beslenme ürünlerinde ise HACCP uygulaması daha yüksek hassasiyet ve daha düşük risk toleransı gerektirmektedir. Bu ürünlerde hedef kitlenin dikkatlice

analiz edilmesi ve buna uygun sıkılaştırılmış kontrollerin uygulanması önem taşımaktadır (FAO & WHO, 2023).

ISO 22000

ISO 22000, gıda zincirinde yer alan tüm kuruluşların güvenli ürün ve hizmet sunmasını sağlamak amacıyla tasarlanmış bir gıda güvenliği yönetim sistemidir. İlk olarak 2005 yılında yayımlanan standart, HACCP prensiplerini, etkileşimli iletişimi, ön gereksinim programlarını ve sistem yönetimini bir araya getirmektedir. Çiftlikten sofraya kadar, gıda zincirinin her aşamasında gıda güvenliği tehlikelerinin belirlenmesine, önlenmesine ve kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. ISO 22000, HACCP'in yedi temel prensibini ön gereksinim programları ve kalite yönetim unsurlarıyla bütünleştiren kapsamlı bir sistem niteliği taşımaktadır (International Organization for Standardization [ISO], 2018).

Standart, gıda zincirindeki paydaşlar arasında etkin iletişimi desteklemekte, üretimin her aşamasında izlenebilirliği güvence altına almakta ve insan sağlığını tehdit eden risklerin ortadan kaldırılması ya da kabul edilebilir seviyelere indirilmesini hedeflemektedir. Aynı zamanda yasal gerekliliklere uyumu destekleyerek risk yönetimini güçlendirmekte ve üretim sonrası doğrulamalar yoluyla kaynakların etkin kullanımını teşvik etmektedir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2024).

Ön koşul programları

Ön koşul programları, WHO tarafından HACCP sisteminin uygulanmasından önce ve uygulama sırasında gerekli olan temel koşul ve uygulamaları ifade etmektedir. Bu programlar, gıda güvenliği tehlikelerinin ortaya çıkma olasılığını azaltarak HACCP sistemine altyapı oluşturmaktadır. Ön gereksinim programları genellikle ürün veya prosese özgü olmaktan ziyade işletme genelini kapsayan uygulamalardır. ISO 22000:2018 standardı da bu programları, gıda zinciri boyunca güvenliğin sağlanabilmesi için gerekli temel koşullar ve faaliyetler olarak tanımlamaktadır.

Bu kapsamda iyi üretim uygulamaları (GMP), iyi hijyen uygulamaları (GHP), iyi tarım uygulamaları (GAP), iyi dağıtım uygulamaları ve diğer iyi uygulama sistemleri bulunmaktadır. GMP, hammadde temininden işleme, ürün geliştirme, üretim, ambalajlama, depolama ve dağıtıma kadar ürün kalitesini sağlamaya yönelik uygulamaları kapsamaktadır (International Finance Corporation, 2020). GHP tesis tasarımı, ekipman

bakımı, kişisel hijyen, temizlik ve dezenfeksiyon, haşere kontrolü ve personel eğitimi gibi kontaminasyon riskini azaltan uygulamaları içermektedir. GAP ise birincil üretim aşamasında oluşabilecek tehlikelerin azaltılması ve kontrol altına alınmasında rol oynamaktadır (FAO & WHO, 2023).

Özel beslenme ürünlerinde kritik kontrol parametreleri

Özel beslenmeye yönelik gıdalarda güvenliğin sağlanması, yalnızca ürünün üretim aşamasındaki kontrolleri ile sınırlı değildir; ürünün kim tarafından, nasıl ve hangi koşullarda tüketileceğinin de dikkate alınmasını gerektirir. Gıda işletmecisinin ürün için belirlediği kullanım amacı, bu ürünün gıda zincirindeki bir sonraki işletmeci ya da tüketici tarafından beklenen kullanım şekli ve öngörülen kullanım dışı olasılıklar, gıda güvenliği yönetiminin temel unsurları arasındadır. Hastaneler, yaşlı bakım merkezleri veya bebek beslenmesine yönelik ürünler gibi hassas gruplara yönelik ürünlerde, gıda güvenliği gereklilikleri daha da önem kazanmaktadır. Bu tür ürünlerde, üretim süreçlerinin daha sıkı kontrol edilmesi, izleme sıklığının artırılması ve doğrulama faaliyetlerinin genişletilmesi gerekebilir (FAO & WHO, 2023).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, özel beslenme ürünlerinin standart kontrol parametrelerinden farklı olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Kronik böbrek yetmezliği olan hastalar tarafından tüketilen özel tıbbi amaçlı gıdalarda protein içeriğinin hassas bir biçimde izlenmesi gerektiği belirtilmektedir (Balogh-Hartman vd., 2025). Yutma güçlüğü çeken bireyler için hazırlanan gıdalarda jel sertliği, su tutma kapasitesi ve IDDSI (Uluslararası Yutma Güçlüğü Diyeti Standardizasyon Girişimi) değerleri boğulma ve aspirasyon riskinin önlenmesinde kritik kabul edilmektedir (Ren vd., 2024). Bebek mamalarında ise vitamin ve mineral düzeylerinin belirlenen alt ve üst limitler içinde kalması, gıda güvenliği açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Konings vd., 2021).

Risk değerlendirme ve risk yönetimi

Gıda güvenliğinde risk analizi; risk değerlendirmesi, risk yönetimi ve risk iletişimi olmak üzere birbiriyle ilişkili üç temel bileşenden oluşan sistematik bir süreçtir. Bu sürecin merkezinde yer alan gıda kaynaklı tehlikeler biyolojik, fiziksel ve kimyasal tehlikeler olmak üzere üç ana kategori altında sınıflandırılmaktadır (CAC, 2003).

Genel popülasyona yönelik standart gıda güvenliği limitleri, metabolik bozuklukları veya spesifik rahatsızlıkları olan bireyler için formüle edilen özel tıbbi amaçlı diyet gıdalarında her zaman yeterli koruma sağlamamaktadır (Shi vd., 2024). Hassas hasta gruplarında vücut ağırlığına göre tüketim miktarının yüksek olması, kimyasal maruziyet riskini artırdığından (van Asselt vd., 2024), risk değerlendirmelerinde standart tüketici profili yerine hedef grubun fizyolojik kırılganlığı esas alınmalıdır. Operasyonel ve ekonomik engeller nedeniyle gıda güvenliği denetimlerinde her tehlikenin sürekli izlenmesi mümkün olmadığından, yüksek etki potansiyeline sahip risklerin önceliklendirilmesi esastır. Özel beslenme ürünlerinin karmaşık üretim ağları ve ham madde çeşitliliği dikkate alındığında, biyolojik ve kimyasal tehlikelerin bu önceliklendirme sürecinde merkeze alınması gerekmektedir (van Asselt vd., 2024).

Tehlikenin tanımlanması ve değerlendirilmesi

Kimyasal tehlikeler

Kimyasal tehlikeler, üretim süreçleri, çevresel kirlilik veya ham maddenin doğasından kaynaklanan düşük molekül ağırlıklı ajanlar (katkı maddeleri, kalıntılar, kontaminantlar) olup, bu tehlikelerin yönetimi özel tıbbi amaçlı gıdalar (FSMP) ve özel beslenme ürünlerinde hayati önem taşımaktadır (Renwick vd., 2003). Bebekler ve bağışıklık sistemi baskılanmış hastalar gibi gruplarda vücut ağırlıklarına oranla yüksek tüketim düzeyleri kimyasal maruziyet riskini artırdığından; Tehlike Endeksi (HI), Tahmini Günlük/Haftalık Alım (EDI/EWI) ve Kabul Edilebilir Günlük Alım (ADI) gibi toksikolojik yaklaşımlarla sıkı bir izleme yapılması zorunludur (Baynes vd., 2016; Ferreira vd., 2023; Frydrych vd., 2024). Bu ürünlerdeki başlıca istem dışı tehlikeler arasında; toksik ve kanserojenik ağır metaller (Pb, Cd, Hg, As), direnç ve alerji tetikleyici tarımsal/veteriner ilaç kalıntıları (Pirsaheb vd., 2016; Abtahi vd., 2017; Ullah vd., 2022; Ferreira vd., 2023), ambalaj kaynaklı migrasyon ajanları (BPA, mineral yağlar, adipatlar) ve doğal toksinler (Aflatoksin B1, Okratoksin A, deniz biyotoksinerleri ve fitotoksinerler) öne çıkmaktadır (Marsh & Bugusu, 2007; Muncke, 2011; Friedman & Rasooly, 2013; Fletcher & Netzel, 2020). Gıdadan tamamen uzaklaştırılamayan bu bulaşanlar için riski minimumda tutmayı hedefleyen As Low As Reasonably Achievable (ALARA) prensibi benimsenirken, bebek formülleri gibi hassas matrislerde uygulanan son derece katı

Aflatoksin M1 sınırları, ürün grubundaki düşük risk toleransını açıkça yansıtmaktadır (van Egmond, 2004).

İstem dışı bulaşanların yanı sıra, teknolojik veya duyuşal gerekliliklerle bilinçli olarak eklenen gıda katkı maddelerinin kullanımı da FSMP ürünlerinde katı denetimlere tabidir (Niu vd., 2025). Kusur maskelemeye kullanılamayan bu maddeler, onkoloji hastaları gibi gruplarda uzun süreli kümülatif maruziyet riski taşıdığından sürekli olarak güvenlik testlerinden geçirilmelidir (Frydrych vd., 2024; Niu vd., 2025). Örneğin Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), 16 haftalıktan küçük bebekler için bazı yaygın kıvam artırıcı gımlara güvenlik sınırlamaları getirmiştir (Shi vd., 2024).

Biyolojik tehlikeler

Gıda zincirinin her aşamasında bulaşabilen biyolojik tehlikeler (bakteri, virüs, parazit ve mantarlar), küresel çapta gıda kaynaklı hastalıkların temel nedenidir. Endüstrileşmiş ülkelerde Norovirüs, *Salmonella enterica*, *Campylobacter* türleri ve *Clostridium perfringens* en sık görülen etkenlerken; yüksek mortalite oranlarına sahip *Listeria monocytogenes* ve *Escherichia coli* O157:H7 halk sağlığını en çok tehdit eden agresif patojenlerdir (International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2018; Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Bu tehlikelerin yönetiminde hükümetlerin belirlediği Toplumsal Toler Edilebilir Koruma Seviyesi (ALOP), endüstri için somut Gıda Güvenliği Hedeflerine (FSO) dönüştürülmektedir. İşletmeler, tüketim anındaki maksimum tolerans limitini ifade eden bu hedeflere ulaşmak ve ekipmanlardaki nemli/gıda kalıntılı alanlarda oluşan biyofilm kaynaklı mikrobiyal kalıcılık sorunlarını önlemek amacıyla; GHP ve HACCP sistemleri kapsamındaki spesifik proses limitlerini eksiksiz uygulamak zorundadır (ICMSF, 2018).

Biyofilm ve mikrobiyal kalıcılık yönetimi; et, süt ve taze ürünlerde öne çıkan *L. monocytogenes*, düşük nemli gıdalarda varlığını sürdüren *Salmonella enterica* ve özellikle bebek maması üretiminde kritik olan *Cronobacter sakazakii* gibi patojenler söz konusu olduğunda ekstra hassasiyet gerektirmektedir (EFSA Panel on Biological Hazards [BIOHAZ] vd., 2024). Nitekim yaşlılar, nörodejeneratif hastalığı olanlar, bağışıklığı baskılanmış hastalar veya yutma güçlüğü çeken bireyler için üretilen özel tıbbi amaçlı gıdalarda, en düşük kontaminasyon düzeyi bile hayati sonuçlar doğurabileceğinden mikrobiyolojik güvenlik standartları

maksimize edilmelidir (Lammardo vd., 2013; Wu vd., 2019). Bu hassas matrislerin üretim ortamında herhangi bir pozitif bulgu saptandığında derhal kök neden analizi yapılmalı, dezenfeksiyon prosedürleri derinleştirilmeli ve gerektiğinde riskli ekipmanlar değiştirilmelidir. Günümüzde kontaminasyon kaynağının mutlak surette doğrulanması ve izlenmesi süreçlerinde ise Tam Genom Dizileme (WGS) gibi yüksek çözünürlüklü ileri analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Wu vd., 2019).

Fiziksel tehlikeler

Fiziksel tehlikeler, gıda ürününün bir parçası olması amaçlanmayan ve dışarıdan ürüne karışan yabancı parçacıklardan veya nesnelerden kaynaklanmaktadır. Gıda üretim zincirinde karşılaşılan başlıca fiziksel tehlike örnekleri arasında; cam kırıkları, metal veya makine parçaları, ambalajlardan ürüne geçen zımba telleri, takılar, taşlar, kemik parçaları, saç, tüy ve odun/tahta parçaları yer almaktadır (Owusu-Apenten & Vieira, 2023).

Gıdalarda bulunabilecek fiziksel ajanların doğasının ve neden olabileceği olumsuz sağlık etkilerinin nitel ve/veya nicel olarak değerlendirilmesi, tehlike karakterizasyonu aşamasının ayrılmaz bir parçasıdır (CAC, 2025). Özel beslenme ürünleri gibi hassas gıdaların üretiminde ve gıda sektörünün genelinde bu fiziksel tehlikelerin kontrol altına alınabilmesi için çok sıkı bir kalite kontrol prosedürünün izlenmesi ile hem çiğ ham maddelerin hem de nihai ürünlerin titizlikle incelenmesi şarttır (Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Ürünlerin özel eleklerden geçirilmesi ve metal dedektörleri ile taranması gibi adımlar fiziksel tehlikelerin önlenmesinde kritik bir öneme sahiptir (BIOHAZ vd., 2024).

Maruziyet ve doz-yanıt ilişkisi

Maruziyet değerlendirmesi, gıda güvenliği risk analizinin temel bileşenlerinden biridir. Bu değerlendirme, biyolojik veya kimyasal bir tehlikenin tüketici tarafından hangi düzeyde, hangi sıklıkta ve ne kadar süre boyunca alındığının nitel veya nicel olarak belirlenmesini kapsamaktadır. Özellikle özel beslenme ürünleri söz konusu olduğunda bu sürecin genel gıdalara kıyasla daha ayrıntılı ve hedef popülasyona özgü biçimde ele alınması gerekmektedir. Bunun nedeni, bu ürünlerin bebekler, küçük çocuklar, yaşlı bireyler ve bağışıklık sistemi baskılanmış hastalar gibi tehlikelere karşı daha savunmasız popülasyonlara yönelik olmasıdır

(FAO & WHO, 2021). Özellikle bebeklerin ve küçük çocukların, vücut ağırlıklarına oranla yetişkinlerden daha yüksek miktarda gıda tüketmeleri maruziyet riskini artırmaktadır. Bu nedenle, özel beslenme ürünlerinde güvenlik değerlendirmesi yalnızca kontaminantın varlığına değil, aynı zamanda tüketim örüntüsü, yaş grubu ve gıda kaynağına bağlı maruziyet senaryoları dikkate alınarak yapılmalıdır (Roman & Sánchez-Siles, 2025).

Doz-yanıt ilişkisi, belirli bir biyolojik, kimyasal veya fiziksel ajana maruziyet düzeyi ile ortaya çıkan olumsuz veya yararlı etkinin şiddeti ya da görülme sıklığı arasındaki ilişkinin değerlendirilmesini ifade etmektedir (FAO & WHO, 2021; EFSA Scientific Committee, 2024). Özel beslenme ürünlerinde bu yaklaşım yalnızca tehlikenin varlığını değil, ürünün hedeflenen besinsel veya fonksiyonel yararı ile olası sağlık risklerinin birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Hassas alt popülasyonlarda mikrobiyolojik maruziyetin yalnızca üretim aşamasında değil, hazırlama, saklama ve kullanım aşamalarında da ele alınması gerekmektedir (EFSA Scientific Committee, 2024; Vergis vd., 2025).

Hassas popülasyonlarda risk modelleme

Geleneksel risk değerlendirme yöntemleri genellikle ortalama bir tüketicinin maruziyetini temel aldığından, yaşam boyu maruziyet yerine belirli bir dönemde yüksek duyarlılık gösteren bu özel grupların korunmasında yetersiz kalabilmektedir (Muncke, 2011). Bu nedenle hassas popülasyonlarda risk modellemeleri, grubun spesifik vücut ağırlığı, fizyolojik/patolojik durumu ve tüketim alışkanlıkları dikkate alınarak Tehlike Katsayısı (HQ), Tahmini Günlük/Haftalık Alım (EDI/EWI) gibi hesaplamalarla yürütülmeli ve referans dozlarla karşılaştırılmalıdır (Renwick vd., 2003; Muncke, 2011; Zolfaghari vd., 2018; Ferreira vd., 2023; Frydrych vd., 2024). Örneğin, vücut ağırlıklarına oranla yüksek kalori ve gıda alımı yüksek olan bebekler/çocuklar ağır metal veya mikotoksinlere daha fazla maruz kalırken (Renwick vd., 2003; van Asselt vd., 2024), özel beslenme ürünlerine bağımlı onkoloji hastalarında haftalık porsiyon ve tüketim miktarları uzun dönemli maruziyet profili çıkarılarak tolere edilebilir sınırlar bağlamında doğrulanmaktadır (Frydrych vd., 2024).

Kimyasal risklerin yanı sıra mikrobiyolojik tehlikeler de bu popülasyonlarda dramatik sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin, *Cronobacter* spp. patojenleri bu gruplar için kritik önem taşıırken, *Listeria monocytogenes* enfeksiyonu geçirme riski hamile kadınlarda standart

bireylere göre 116 kat, 74 yaş üstü bireylerde ise 20 kat daha yüksektir (Renwick vd., 2003; ICMSF, 2018). Bu çok yönlü ve yüksek etkili riskleri doğru yönetebilmek adına günümüzde risk modellemeleri, tek noktalı tahminlerden ziyade olasılıksal risk değerlendirmesi ve Monte Carlo simülasyonları gibi daha kapsamlı araçlara evrilmektedir (ICMSF, 2018). Bu dinamik modeller; tüketim alışkanlıklarındaki sapmaları, gıdadaki kimyasal kontaminantların rastgele dağılımını veya patojenlerin üretimden tüketime kadar olan büyüme/inaktivasyon kinetiklerini Kantitatif Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi (QMRA) ile aynı anda simüle etmektedir (Renwick vd., 2003; ICMSF, 2018; BIOHAZ vd., 2024). Bu simülasyonlar sayesinde risk yöneticileri hassas gruplar için çok daha katı Gıda Güvenliği Hedefleri ve Uygun Koruma Seviyeleri belirleyebilmekte ve tıbbi gıdaların bu düşük tolerans standartlarına uygun üretilmesi garanti altına alınmaktadır (ICMSF, 2018).

Risk yönetimi ve risk iletişimi

Gıda güvenliğinde risk yönetimi, risk değerlendirmesi sonuçları ile tüketici sağlığı ve adil ticaret gibi faktörleri dikkate alarak, paydaşlarla istişare içinde en uygun politika ve kontrol seçeneklerini belirleme sürecidir (ICMSF, 2018; CAC, 2025). Halk sağlığının korunmasını daima birincil hedef alan risk yöneticileri, özel beslenme ürünlerinde tehlikeyi azaltmanın maliyeti ile riski kabul etmenin sonuçları arasında optimum bir denge kurarak, aşırı kısıtlayıcı olmayan verimli önlemlerle risk azaltımını maksimize etmeyi amaçlar (FAO & WHO 2006; ICMSF, 2018; CAC, 2025). Ön risk yönetimi faaliyetleri, seçeneklerin değerlendirilmesi, kararların uygulanması, izleme ve gözden geçirme adımlarını içeren bu yapılandırılmış çerçevede ALOP, FSO ve PO gibi nicel metrikler kritik rol oynamaktadır (ICMSF, 2018; CAC, 2025). Tüketim anında gıdadaki bir tehlikenin kabul edilebilir maksimum konsantrasyonunu ifade eden FSO, genel koruma seviyesi olan ALOP'a ulaşılmasına katkı sağlarken, gıda endüstrisi bu hedefleri GHP ve HACCP sistemleri aracılığıyla kendi üretim hatlarına entegre etmektedir (FAO & WHO 2006; ICMSF, 2018).

Risk yönetiminin tamamlayıcısı olan risk iletişimi ise; risk değerlendiricileri, yöneticiler, tüketiciler, endüstri ve akademi arasında bilgi ve görüşlerin etkileşimli olarak paylaşıldığı çok yönlü bir süreçtir (FAO & WHO, 2006; ICMSF, 2018; CAC, 2025). Bu yapı, bilginin tek yönlü aktarımından ziyade, tüm paydaş görüşlerinin karar alma mekanizmalarına dahil edilmesini sağlar (Niu vd., 2025). İletişimin sahaya

yansıyan en somut örneği olan ağır metal veya alerjen uyarılarının etiketlerde şeffaf bir şekilde sunulması, hastalar ve sağlık profesyonelleri için daha güvenli diyet seçimlerini doğrudan desteklemektedir (Frydrych vd., 2024). Ancak önlem amaçlı etiketlemelerin tutarsız veya aşırı kullanımı tüketicide kafa karışıklığına yol açabilmektedir. Bu nedenle risk yönetimi ve risk iletişimi süreçleri, bilimsel kanıtlara dayalı, şeffaf ve tüm paydaşların ortak sorumluluk aldığı bir yaklaşımla yürütülmelidir (Ward vd., 2010).

Ulusal ve uluslararası gıda mevzuatı

Tüketici sağlığını ve gıda güvenliğini uluslararası normlarda korumayı hedefleyen çok katmanlı gıda mevzuatları, özel beslenme ürünleri söz konusu olduğunda hedef kitlenin spesifik gereksinimlerini de güvence altına almaktadır. Türkiye, AB, ABD ve Kodeks Alimentarius çerçevelerinin ortak vizyonu, risk temelli güvenlik, doğru etiketleme, formülasyon kontrolü ve hassas grupların korunması üzerine inşa edilmiş proaktif bir düzenleyici yaklaşım benimsemektir. Bu vizyon doğrultusunda Türkiye’de gıda güvenliğinin yasal dayanağını oluşturan 2010 tarihli ve 5996 sayılı "Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu", AB uyum süreci kapsamında yürürlüğe girerek gıda ve yem zincirindeki tüm operasyonlarda insan sağlığını korumak amacıyla risk analizine dayalı yaklaşımı zorunlu kılmıştır (Çopuroğlu vd., 2015). 5996 sayılı Kanun’un 23. ve 27. maddeleri gıda ve gıdayla temas eden materyallerin hijyen ve güvenlik altyapısını oluşturmakta, bu kapsamdaki yönetmelik, pestisit, kalıntı, bulaşan ve katkı maddesi limitlerini belirleyerek tüm operasyonel süreçleri yasal güvence altına almaktadır (Anonim, 2026a). Spesifik tüketici gruplarının ihtiyaçlarına odaklanan özel beslenme mevzuatı ise, hassas gıdaların tekniğine uygun üretimi, işlenmesi ve depolanmasına yönelik hijyenik esasları belirlerken, pazara sunum için şart koşulan bileşim ve etiketleme kriterlerini standartlaştırmaktadır (Anonim, 2026b).

Avrupa Birliği ve ABD mevzuatları da benzer şekilde risk önleyici ve bilime dayalı sistemler üzerine kuruludur. Avrupa Birliği’nde gıda güvenliği politikalarının bilimsel risk değerlendirmesi Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA, 2026) tarafından yürütülürken, Gıda Hukuku’nun temelini oluşturan 178/2002 sayılı regülasyon, izlenebilirlik ve risk analizini (Arienzo vd., 2008), 609/2013 sayılı düzenleme ise özel beslenme alanını yasal zemine oturtmaktadır (European Commission, [EC], 2015). ABD’de ise merkezinde FDA’nın yer aldığı sistem (Fortin,

2016), 2011 tarihli Gıda Güvenliği Modernizasyonu Yasası ile reaktif yaklaşımdan ziyade kontaminasyonu erken aşamalarda önleyen proaktif bir modele geçiş yapmış olup, özel beslenme ürünleri spesifik regülatif çerçevelerde denetlenmektedir (Fortin, 2016; FDA, 2024). Küresel ölçekte ise tüm bu ulusal ve bölgesel regülasyonlara yön veren temel standartlar, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve WHO tarafından kurulan Kodeks Alimentarius Komisyonu tarafından belirlenmektedir (Yılmaz Usta, 2025). Uluslararası ticarete ve güvenilir gıda üretiminde en üst bilimsel referans kabul edilen bu standartlar (Motarjemi, 2014), bebek gıdaları ve özel tıbbi amaçlı ürünler gibi hassas gruplara yönelik spesifik teknik çerçeveler sunarak küresel gıda güvenliği harmonizasyonunu sağlamaktadır (Food and Agriculture Organization of the United Nations, [FAO], 2026).

Mevzuatlar arası uyum, farklılıklar ve boşluklar

Türkiye, Avrupa Birliği, ABD ve Kodeks Alimentarius kapsamındaki düzenlemeler birlikte değerlendirildiğinde, gıda güvenliği için ortak yaklaşımın tüketici sağlığının korunması ve bilimsel risk değerlendirmesi üzerinde kurulduğu görülmektedir. Türkiye’deki düzenleyici yapı, Avrupa Birliği ile uyum süreci doğrultusunda geliştirilmiş olup, özel beslenme amaçlı gıdalar, bebek ve küçük çocukların beslenmesine yönelik ürünler, ürün odaklı tebliğler ve yönetmeliklerle desteklenmektedir. Avrupa Birliği’nde 609/2013 sayılı düzenleme, hassas tüketici gruplarına yönelik özel gıdaları bütüncül bir çerçevede ele almakta; bebek mamaları, işlenmiş tahıl bazlı bebek gıdaları, özel tıbbi amaçlı gıdalar ve kilo kontrolüne yönelik tam diyet yerine geçen ürünler için teknik düzenlemelerin geliştirilmesine dayanak oluşturmaktadır. ABD sistemi ise Avrupa Birliği ve Türkiye’den farklı olarak ürün kategorisine göre daha parçalı bir düzenleyici yapı göstermektedir. Bebek formülleri, tıbbi gıdalar, takviye edici gıdalar, fonksiyonel bileşen içeren ürünler ve yeni gıda bileşenleri farklı düzenleyici çerçeveler kapsamında ele alınmaktadır. Bu çerçevede özel beslenme ürünlerine ilişkin mevzuatlarda ortak güvenlik ilkeleri etrafında şekillenen ancak ürün sınıflandırması, yetkilendirme, etiketleme ve denetim düzeylerinde farklılaşan bir yapı bulunmaktadır. Türkiye açısından temel yaklaşım AB mevzuatıyla uyumun sürdürülmesi ve özel ürün gruplarına yönelik düzenlemelerin ürün bazlı tebliğler aracılığıyla ayarınılandırılmasıdır.

Özel beslenme gruplarına yönelik spesifik düzenlemeler

Özel Tıbbi Amaçlı Gıdalar

Özel tıbbi amaçlı gıdalar (FSMP), kısıtlı beslenme, sindirim sorunları, metabolik bozukluklar veya spesifik hastalıkları olan bireylerin diyet gereksinimlerini karşılamak üzere formüle edilmiş ürünler olup (Bresson vd., 2021), bu ürünlere yönelik spesifik mevzuatlarda küresel ölçekte önemli farklılıklar bulunmaktadır (Kang & Park, 2025). Avrupa Birliği'nde 609/2013 ve 2016/128 sayılı tüzükler kapsamında düzenlenen FSMP'ler; standart formüllü tam beslenme sağlayanlar, hastalığa özgü uyarlanmış tam beslenme sağlayanlar ve yalnızca kısmi beslenme desteği sunan tam olmayan gıdalar şeklinde üç ana gruba ayrılmaktadır (EC, 2015). AB yaklaşımı, bu ürünlerin uygun ve güvenli kullanımında tıbbi gözetim zorunluluğunu şart koşarak sağlık profesyonellerinin kritik rolünü merkeze almaktadır (Kang & Park, 2025).

ABD'de "tıbbi gıdalar" kavramı FDA tarafından 1988 tarihli Yetim İlaç Yasası Değişiklikleri (Orphan Drug Amendments) kapsamında tanımlanmaktadır. Bu ürünler, bir hekimin gözetimi altında sindirim sistemi yoluyla tüketilmek veya uygulanmak üzere formüle edilen ve bilimsel olarak tanımlanmış belirgin beslenme gereksinimlerine sahip bir hastalık veya durumun diyet yönetimine yönelik hazırlanan özel gıdalar şeklinde tanımlanmaktadır. ABD yaklaşımı, sindirim sistemi yoluyla tüketim vurgusu, hastalığa özgü beslenme gereksinimlerinin açık biçimde tanımlanması ve tıbbi gıdaların ilaçlar ile takviye edici ürünlerden ayrıştırılması bakımından Avrupa Birliği yaklaşımından farklılık göstermektedir (FDA, 2023; Kang & Park, 2025). Türkiye'deki yasal çerçeve ise "TGK Özel Tıbbi Amaçlı Diyet Gıdalar Tebliği (2001/42)" ile belirlenmiş olup, üretimden pazarlamaya kadar olan süreçlerdeki hijyen, bileşim ve etiketleme kriterlerini standardize etmektedir. Türkiye'deki sınıflandırma sistemi AB mevzuatıyla tam bir paralellik göstererek; standart tam beslenme, hastalığa özgü tam beslenme ve beslenme açısından tam olmayan ürünler şeklinde üçlü bir yapı sunmaktadır (Anonim, 2026b). Bu bilgiler doğrultusunda, tüm bu farklı FSMP düzenlemelerinin ortak amacı, ürün güvenliğini sağlamanın ötesine geçerek, bileşim, tıbbi gözetim, etiketleme ve yanlış tüketim risklerinin önlenmesi gibi unsurları bütüncül bir yaklaşımla ele alıp hastaların spesifik klinik gereksinimlerini tam olarak karşılamaktır.

Bebek ve küçük çocuk beslenmesi

Bebek ve küçük çocuk beslenmesine yönelik ürünler, hedef kitlenin fizyolojik hassasiyeti nedeniyle regülasyonların en sıkı uygulandığı gıda grubudur. Bu formüllerdeki besin kompozisyonu; eksiklik veya aşırı alım riskini önleyecek güvenilirlik ve uygunluk kriterlerine göre belirlenmektedir (Konings vd., 2021). Yenidoğan sağlığı için mikrobiyolojik ve kimyasal güvenlik hayati olduğundan, yetişkinler için belirlenen toksikolojik limitler bebeklere doğrudan uygulanamaz; risk değerlendirmeleri bu yaş grubuna özgü maruziyet senaryolarıyla yürütülmelidir (Astolfi vd., 2021). Bu bağlamda, ürün bileşimi, kalite, hijyen ve etiketleme gereklilikleri açısından ulusal mevzuatlara rehberlik eden küresel referansları Kodeks Alimentarius Komisyonu'nun "CXS 72-1981" ve "CXS 156-1987" standartları oluşturmaktadır.

Küresel referansları temel alan bölgesel regülasyonlar incelendiğinde, Avrupa Birliği'nde bebek ve devam formüllerinin (AB) 609/2013 sayılı düzenleme kapsamında "belirli gruplara yönelik gıdalar" içinde sınıflandırıldığı ve (AB) 2016/127 sayılı tüzük ile ayrıntılı bileşim/bilgilendirme şartlarına bağlandığı görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise bu ürünler FDA tarafından 21 CFR Kısım 106 ve 107 kapsamında düzenlenmekte, piyasaya sunulan her formülde 30 zorunlu besin ögesinin bulunması ve ürünlerin yeterli protein içeriğiyle sağlıklı büyümeyi destekleme kapasitesinin kanıtlanması şart koşulmaktadır (Harrigan vd., 2025). Türkiye'deki yasal çerçeve ise "TGK Bebek Formülleri ve Devam Formülleri Tebliği (2019/14)" ve "TGK Bebek ve Küçük Çocuk Ek Gıdaları Tebliği (2007/50)" ile sağlanmakta; ürünlerin enerji ile makro ve mikro besin ögeleri spesifik alt ve üst sınırlar dahilinde standardize edilmektedir. AB, ABD ve Türkiye mevzuatları bütüncül olarak değerlendirildiğinde, besinsel bileşimin doğrulanması, mikrobiyolojik ile kimyasal güvenliğin maksimize edilmesi ve pazarlama uygulamalarının katı kontrolü ekseninde şekillenen bu ortak düzenleyici yaklaşım, bebek formüllerini özel beslenme kategorisindeki en yüksek koruma düzeyine sahip ürün grubu yapmaktadır.

Yeni gıdalar

Yeni gıdalar, yenilikçi teknolojiler veya üretim yöntemleri kullanılarak geliştirilen ürünleri ifade etmekte olup; alternatif proteinler, alg ve mikroorganizma kaynaklı bileşenler, böcek proteinleri, hücre

kültürüyle üretilen gıdalar, nanomalzemeler, yeni lif kaynakları, hassas fermentasyon ürünleri ve fonksiyonel bileşenler bu kapsamda değerlendirilmektedir (CAC, 2022). Bu ürünler sağlık ve beslenme, sürdürülebilirlik, alternatif gıda kaynakları ve kişiselleştirme alanlarına odaklanmakla birlikte, tüketici kabulü, güvenlik ve mevzuata uygunluk açısından da dikkatle değerlendirilmelidir (Chaudhary vd., 2018; Ververis vd., 2020).

Bu gereklilik doğrultusunda bölgesel mevzuatlar, ürünlerin tüketim geçmişlerini referans alarak şekillenmiştir. Avrupa Birliği açısından ise (AB) 2015/2283 sayılı düzenleme ile 15 Mayıs 1997’den önce kıtada önemli bir tüketim geçmişi bulunmayan gıdalar “yeni gıda” olarak tanımlanmıştır. EFSA ise bu ürünlerin piyasaya arzı öncesinde kimya, mikrobiyoloji ve toksikoloji gibi disiplinleri bir araya getiren multidisipliner risk değerlendirmesinden sorumlu tek AB kurumu haline gelmiştir (Ververis vd., 2020). Benzer bir yaklaşımla Türkiye’de hazırlanan 2026 tarihli “TGK Yeni Gıdalar Yönetmeliği” ise 31 Aralık 2025’ten önce ülkede önemli bir tüketim geçmişi bulunmayan, yeni moleküler yapılar veya modern üretim teknolojilerine (hücre/doku kültürü, nanomateryal vb.) sahip gıdaları yasal çerçeveye oturturken, böcek kaynaklı yeni gıda başvurularının kabul edilmeyeceği belirtilmektedir (Resmî Gazete, 2026). Yeni gıda kaynaklarının ve inovatif teknolojilerin özel tıbbi amaçlı gıdalar dahil olmak üzere özel beslenme ürünlerinde kullanımının giderek artması, EFSA, FDA ve CAC gibi küresel otoritelerin bu spesifik ürün grupları için bilim temelli güvenlik değerlendirme yaklaşımları, rehber dokümanlar ve dinamik düzenleyici mekanizmalar geliştirmesini zorunlu kılmaktadır (Samarasiri vd., 2023; Shi vd., 2024).

Takviye edici gıdalar ve nutrasötikler

Besin destekleri ve fonksiyonel gıdalar, ülkelerin kültürel gelenekleri, etnik özellikleri ve yasal düzenlemelerine bağlı olarak farklı terim ve kapsamlarla tanımlanmaktadır (Shan vd., 2025). Gıda takviyeleri temel olarak mikro besin eksikliklerini gidermeyi hedeflerken; tıbbi veya sağlık yararları sunan gıda bileşenleri olarak tanımlanan nutrasötikler, gıda ile ilaç arasındaki gri alanda yer almakta ve küresel düzeyde üzerinde uzlaşılmış bir yasal tanımlı bulunmamaktadır (Chauhan vd., 2013; Santini vd., 2018; Komala vd., 2023; Shan vd., 2025).

Bu küresel belirsizlik nedeniyle nutrasötikler ve takviyeler, bölgesel mevzuatlarda fizyolojik etkilerine veya beyanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Avrupa Birliği'nde, sağlıklı dokuları koruyan ürünler gıda bileşeni, fizyolojik süreçleri değiştirenler ise tıbbi madde kabul edilmekte, tıbbi beyanı olan nutrasötikler farmakolojik düzenlemelere tabi tutulmaktadır (Gulati vd., 2006; Tedesco & Cagnardi, 2019; De Boer vd., 2020; Komala vd., 2023). Türkiye'de takviye edici gıdalar 2013/49 sayılı TKG Takviye Edici Gıdalar Tebliği ile düzenlenirken, nutrasötikler için bağımsız bir mevzuat kategorisi bulunmamaktadır. Nutrasötik nitelikli ürünlerin büyük bölümü bileşim ve kullanım amaçlarına göre bu tebliğ çatısı altında değerlendirilmekte, sağlık beyanı içerenler ise ayrıca "Gıda ve Takviye Edici Gıdalarda Sağlık Beyanı Kullanımı Hakkında Yönetmelik" kapsamında denetlenmektedir. AB, ABD ve Türkiye birlikte değerlendirildiğinde, nutrasötiklerin bağımsız ve ortak bir mevzuat kategorisi olarak ele alınmadığı, takviye edici gıdaların ise güvenlik, etiketleme ve tüketiciyi yanıltıcı beyanlardan koruma ilkeleri çerçevesinde düzenlendiği görülmektedir.

Kişiselleştirilmiş beslenme

Hassas ve kişiselleştirilmiş beslenme, bireylere özgü verileri dikkate alarak, sağlığın iyileştirilmesine yönelik beslenme müdahalelerinin geliştirilmesini hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımdır (Livingstone vd., 2022). Bu alan, yapay zekâ ve giyilebilir cihazlar gibi teknolojik ilerlemeler doğrultusunda hızla gelişmektedir. ABD'de kişiselleştirilmiş beslenmeye yönelik ürün ve hizmetler, FDA tarafından tıbbi gıdalar, özel beslenme amaçlı gıdalar ve takviye edici gıdalar ile ilgili düzenlemeler çerçevesinde değerlendirilmektedir. Kişiselleştirilmiş beslenme programları çoğunlukla birden fazla bileşeni bir araya getirmekte; gıdalar, takviye edici ürünler, *in vitro* tanı testleri, tıbbi cihazlar, sağlıklı yaşam cihazları ve yapay zekâ/makine öğrenimi modelleri farklı düzenleyici alanlara girebilmektedir. Bu durum, kişiselleştirilmiş beslenmenin tek bir mevzuat başlığı altında düzenlenmesini güçleştirmektedir (Donovan vd., 2025). Avrupa Birliği'nde kişiselleştirilmiş beslenme, tek bir mevzuatla değil, mevcut AB gıda yasaları, veri koruma kuralları ve tüketici hakları gibi farklı yasal çerçevelerin birleşimiyle düzenlenen bir alan olarak değerlendirilmektedir (Röttger-Wirtz & Alie, 2021). Türkiye'de de kişiselleştirilmiş beslenmeye özgü bağımsız bir gıda düzenlemesi bulunmamaktadır. Bu alan, veri güvenliği, sağlık beyanları, takviye edici

gıda ve genel tüketici koruma düzenlemelerinin birlikte ele alınmasıyla gelişen bir yapı göstermektedir.

Gıda etiketleme, izlenebilirlik ve sağlık beyanları

Zorunlu etiketleme

Zorunlu etiketleme, tüketicilerin sağlıklı ve bilinçli seçimler yapabilmesi için temel gıda bilgilerinin yasal bir çerçevede sunulmasıdır. Üretici ile tüketici arasındaki bilgi asimetrisini ortadan kaldırmayı ve kamu sağlığını korumayı hedefleyen bu sistem, Kodeks Alimentarius standartları ile Avrupa Birliği'nin 1169/2011 sayılı düzenlemesi gibi uluslararası ve bölgesel mevzuatlara dayanmaktadır (Stuart, 2010; Martini & Menozzi, 2021). Zorunlu etiketleme kapsamında gıdanın tam adı, bileşen listesi, net miktar, son kullanma tarihi, muhafaza koşulları, işletmeci bilgileri, alerjen uyarıları ve besin değerleri tablosu temel unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Mojduszka & Caswell, 2000; Stuart, 2010). Özellikle besin değerleri ve alerjenlerin açıkça beyan edilmesi, tüketicilerin ürünün gerçek niteliğini değerlendirebilmesi açısından önem taşımaktadır (Mojduszka & Caswell, 2000; Martini & Menozzi, 2021).

Son yıllarda zorunlu etiketleme gereklilikleri sadece nihai ürün içeriğini değil, gıdanın üretim şeklini gösteren süreç etiketlemelerini de kapsayacak şekilde genişlemiştir. Genetiği değiştirilmiş organizmaların beyanı ve trans yağ etiketlemesi bu uygulamalara örnek gösterilmektedir. Bu uygulamalar, tüketicinin bilgilendirilmesini sağlamakla birlikte endüstriyel olarak ürün formülasyonunun yeniden değerlendirilmesini teşvik edebilmektedir (Messer vd., 2017; Kolodinsky & Lusk, 2018; Hakim vd., 2020).

Alerjen yönetimi ve “içermez” ürünler

Yaygınlığı ve şiddeti küresel çapta artan gıda alerjileri, bağışıklık sisteminin spesifik proteinlere gösterdiği, hafif semptomlardan ölümcül anafilaksiye kadar uzanabilen aşırı duyarlılık reaksiyonlarıdır (Koeberl vd., 2018). Bu riskleri yönetmek, gıda endüstrisi, otoriteler ve sağlık profesyonellerinin ortak sorumluluğunda olup, bu bağlamda Avrupa Birliği (AB) mevzuatı, lüpen, yumuşakçalar ve çeşitli ağaç yemişleri (badem, fındık, ceviz vb.) dahil olmak üzere paketli gıdalarda 14 temel alerjenin beyanını zorunlu kılmaktadır (Manning & Soon, 2017; Soon, 2019). Ancak endüstride alerjen yönetiminin en büyük zorluklarından biri olan çapraz kontaminasyon riskine karşı "Önlem Amaçlı Etiketleme"

(PAL) uygulamalarının standart dışı ve kontrolsüz kullanımı, tüketici güvenliğini zedeleyerek ciddi bir bilgi kirliliğine yol açmaktadır (Koeberl vd., 2018).

Bu bilgi kirliliğini ve çapraz kontaminasyon riskini önlemek adına modern gıda güvenliği, tehlike odaklı yaklaşımlar yerine HACCP ile entegre edilmiş GMP programlar, fiziksel ayırım ve Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), Polymerase Chain Reaction (PCR) gibi analitik doğrulama yöntemlerini merkeze alan kantitatif riske dayalı sistemleri zorunlu kılmaktadır (Ward vd., 2010; Stein, 2015; Manning & Soon, 2017). Bulaşı ihtimalini sayısal doz limitleriyle analiz eden Voluntary Incidental Trace Allergen Labelling (VITAL) gibi risk değerlendirme araçları ihtiyati etiketleme (PAL) süreçlerini standartlaştırırken (Manning & Soon, 2017), sistemin en üst denetim düzeyini gerektiren "İçermez" (Free-from) ürün statüsü çok daha katı kurallara tabidir. Eser miktarlara dahi tepki veren hassas tüketiciler için formüle edilen bu ürünlerde (örn. glütensiz gıdalar) ilgili alerjenin üründe bulunmadığı, ayrı üretim tesisleri, hava akışı ve toz kaynaklı bulaşmanın önlenmesi, özel tedarikçi denetimleri ve paketlenme doğrulama sistemleriyle sistematik olarak garanti altına alınmalı ve ilgili beyanlar mutlak surette analitik testlerle kanıtlanmalıdır (Ward vd., 2010; Stein, 2015).

Beslenme ve sağlık beyanları

Beslenme ve sağlık beyanları, gıdaların faydalı özelliklerini aktarmak, bilgi şeffaflığı sağlamak, tüketiciyi yanıltmamak ve uluslararası ticareti güvenli hale getirmek amacıyla kullanılan yasal iletişim araçlarıdır (Gilsenan, 2011). Avrupa Birliği'nde 1924/2006 sayılı Tüzük ile düzenlenen bu iddialar ikiye ayrılır: Beslenme beyanları ürünün enerji veya besin içeriğini belirtirken, sağlık beyanları gıda bileşeni ile sağlık arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir (Verhagen vd., 2010).

AB mevzuatında sağlık beyanları, genel vücut fonksiyonları, hastalık riskinin azaltılması ve çocuk gelişimi gibi kategorilere ayrılmakta olup, sağlık beyanlarının EFSA tarafından bilimsel olarak onaylanması zorunludur (Gilsenan, 2011). Türkiye'de sağlık beyanlarına ilişkin uygulamalar büyük ölçüde AB düzenlemeleriyle uyumludur. 2023 güncellemeleriyle onay ve denetim yetkisi Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'na devredilmiştir (Resmî Gazete, 2023). Tüm beyanların

fizyolojik geçerliliği olan biyobelirteçler ve güçlü bilimsel verilerle kanıtlanması temel bir yasal gerekliliktir. Küresel ölçekte Kodeks Alimentarius standartları yol göstericiyken, ABD’de FDA nitelikli sağlık beyanlarına feragatnameyle izin verilmekte, Japonya ise Belirli Sağlık Amaçlı Gıdalar (Food for Specified Health Use, FOSHU) sistemini kullanmaktadır. Bu beyanların kötüye kullanımını ve şeker/yağ oranı yüksek sağlıksız gıdaların faydalı gibi sunulmasını engellemek için besin profili çıkarma yönteminden yararlanılmaktadır. Modern düzenlemeler, beyanların tüketici tarafından net anlaşılmasını güvence altına alırken, gıdalara tıbbi tedavi edici özellikler atfedilmesini ve aşırı tüketimin teşvik edilmesini kesin olarak yasaklamaktadır (Verhagen vd., 2010).

İzlenebilirlik

Kodeks Alimentarius'a göre izlenebilirlik, ürünlerin üretimden tüketime kadar gıda zincirinin her aşamasında geriye ve ileriye dönük olarak takip edilebilmesi yeteneğidir (Charlebois vd., 2014). Özel beslenme ürünlerinde bu sistem; kalite garantisi, süreç iyileştirme ve gıda güvenliği risklerinin yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Etkili bir yapı, izlenebilir birimlerin tanımlanmasına, zincir içi dönüşümlerin belgelenmesine ve ürün niteliklerinin kaydedilmesine dayanmaktadır (Olsen & Borit, 2018). Özellikle dönüşüm metaverilerinin (nakliye ve depolama sırasındaki sıcaklık, nem vb.) kayıt altına alınması, muhafaza koşullarının teyit edilmesi ve raf ömrü yönetimi için hayati bir gerekliliktir.

Kayıtların tutulması ve birimlerin fiziksel tanımlamasında, basılı etiket, barkod, Karekod (QR) ve Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) gibi gelişmiş teknolojiler yaygın olarak kullanılmaktadır (Charlebois vd., 2014; Olsen & Borit, 2018). Aktif RFID etiketleri, çevresel parametreleri sürekli izleyerek muhafaza koşullarındaki sapmaları anında saptama avantajı sunmaktadır (Olsen & Borit, 2018). Özel beslenme mühendisliğinde teknoloji destekli bu hassas takip, ortak tesislerdeki alerjen bulaşını ve çapraz kontaminasyon risklerini minimize etmede kilit rol oynamaktadır (Schwägele, 2005). Ayrıca olası gıda güvenliği krizlerinde sorunun kaynağını ve boyutunu hızla tespit ederek, yalnızca riskli partilerin geri çağrılmasını sağlamaktadır (Golan vd., 2004; Smith vd., 2005).

Raf ömrü yönetimi ve muhafaza stratejileri

Raf ömrü kavramı ve özel beslenmeye özgü zorluklar

Ürün raf ömrü, genel olarak bir gıdanın kabul edilemez bir kalite kaybına (tavsiye edilen tüketim tarihi) veya güvenlik kaybına (son kullanma tarihi) uğraması için geçen süre olarak tanımlanmaktadır (Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Özel beslenme ürünlerinde raf ömrü, mikrobiyolojik bozulmaların önlenmesinin yanı sıra, etikette beyan edilen besin ögesi değerlerinin süreç boyunca korunmasını da garanti etmelidir (Kang & Park, 2025). Ürün matrisinde, ısıl işlem ve paketlenme koşullarına bağlı olarak %15-75, inert gazla paketlenmiş formüllerde %10-15 düzeyinde besin kaybı yaşanabilmektedir. Bu nedenle üreticiler, gıdanın raf ömrünün sonuna dek yasal etiket değerlerini karşılayabilmesi adına başlangıç formülasyonlarını büyük bir hassasiyetle ayarlamak zorundadır (Konings vd., 2021).

Raf ömrü yönetiminin temel belirleyicileri; su aktivitesi, ortam sıcaklığı, oksijen teması, ışık maruziyeti ve ambalaj içi gaz bileşimidir. Bu faktörler iyi yönetilmediğinde, toz formüllerde nem ve oksijen kaynaklı bozulmalar artarken, sıvı veya jel ürünlerde tortulaşma, emülsiyon kırılması ve koloidal stabilite kayıpları gibi fiziksel riskler meydana gelmektedir. Tüm bu nedenlerle özel beslenme ürünlerinin raf ömrü, sıcaklık, bağıl nem, ışık ve tepe boşluğu gaz bileşiminin sıkı bir şekilde kontrol edildiği periyodik stabilite testleriyle bilimsel olarak belirlenmeli ve doğrulanmalıdır (Owusu-Apenten & Vieira, 2023).

Raf ömrü belirleme yöntemleri ve hızlandırılmış testler

Özel beslenme ürünlerinde raf ömrünün belirlenmesi, ürünün hedeflenen depolama koşulları altında fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik stabilitesini koruduğunun kanıtlanmasını gerektirmektedir (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies [NDA], 2015). Zamana bağlı kalite kayıplarının izlenmesi ve patojenler için prediktif modelleme araçlarının kullanımı bu süreçte kritik bir yer tutmaktadır. Raf ömrü tayininde temel olarak gerçek zamanlı ve hızlandırılmış testler kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı testlerde kalite değişimleri ürünün orijinal ambalajında ve hedeflenen piyasa koşullarında izlenirken, uzun raf ömürlü ürünlerde bu yaklaşım Ar-Ge ve ürün geliştirme süreçlerini yavaşlatabilmektedir (Calligaris vd., 2019; Haouet vd., 2019).

Hızlandırılmış raf ömrü testleri, sıcaklık, nem, ışık veya oksijen basıncı gibi çevresel stres faktörlerini ekstrem seviyelerde uygulayarak, ürünlerdeki bozulma reaksiyonlarını hızlandırma prensibine dayanmaktadır (Ragnarsson & Labuza, 1977). Karmaşık formülasyonlarda asitlik, vitamin kaybı, renk, tat ve tekstür gibi çoklu parametrelerin izlendiği bu testlerden elde edilen veriler (Pedro & Ferreira, 2006); Arrhenius denklemi, aktivasyon enerjisi ve Q10 faktörü gibi kinetik yaklaşımlarla standart depolama sıcaklığına uyarlanır. Ancak bu yöntemdeki en kritik sınır, aşırı stres faktörlerinin ürünün doğal bozulma mekanizmasını saptırma riskidir. Sıcaklığın aşırı yükseltilmesi, lipid erimesi, enzimatik olmayan esmerleşme veya matrisin cam geçiş sıcaklığına bağlı faz değişimlerini tetikleyerek yapısal sapmalara neden olabilmektedir (Calligaris vd., 2019). Bu nedenle test koşulları, ana bozulma mekanizmasını değiştirmeden yalnızca reaksiyon hızını artıracak şekilde titizlikle optimize edilmelidir.

Stabilite ve fonksiyonel bileşen korunumu

Özel tıbbi amaçlı diyet gıda formülasyonlarında yer alan vitaminler, probiyotikler, biyoaktif peptitler ve omega-3 gibi fonksiyonel bileşenlerin üretimden tüketime kadar stabil kalması büyük önem taşımaktadır (De Vos vd., 2010). Ancak bu hassas bileşenler, işleme, paketlenme ve depolama aşamalarında çevresel faktörlere bağlı olarak hızla bozunabilmektedir. Fonksiyonel gıda matrislerindeki biyoaktif bileşen, lipid ve pigment stabilitesi, su aktivitesi, sıcaklık, ışık ve ambalaj içi oksijen konsantrasyonu gibi fizikokimyasal ve çevresel parametrelerin titizlikle yönetilmesine dayanmaktadır. Örneğin, oksidasyona duyarlı vitamin ve lipidlerin korunması sıcaklık/ışık kontrolü ve inert gaz/vakum atmosferli paketlenme ile sağlanırken; toz ürünlerde yapısal stabilite, düşük dekstroz eşdeğerli maltodekstrin, gam veya protein izolatu gibi yüksek molekül ağırlıklı taşıyıcıların formüle eklenerek matrisin cam geçiş sıcaklığının artırılmasıyla güvence altına alınmaktadır (Owusu-Apenten & Vieira, 2023).

Mikroenkapsülasyon ve nanoyapılı taşıyıcılar, aktif bileşenleri gastrointestinal stres faktörlerinden koruyarak kontrollü salımı ve bileşen stabilitesini desteklemektedir. Bu yaklaşımlar, suda çözünmeyen takviyelerin korunması ve probiyotiklerin gastrointestinal sistemden geçişi sırasında canlılığının sürdürülmesi açısından değerlendirilmektedir (Shi vd., 2024).

Muhafaza teknikleri ve ambalajlama stratejileri

Gıda muhafaza tekniklerinin amacı, raf ömrünü uzatmak, besin değerini korumak ve mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel bozulmaları engellemektir (Ghaly vd., 2010). Sıvı veya yarı katı formdaki özel beslenme ürünlerinde bu hedefe ulaşmak için ısıtıl işlemler ile düşük sıcaklık uygulamaları entegre edilmektedir. Örneğin, ticari sterilizasyon ve ultra yüksek sıcaklık (UHT, Ultra High Temperature) aseptik paketleme sistemleri *Clostridium botulinum* gibi ısıya dirençli patojen sporlarını yok ederken (Owusu-Apenten & Vieira, 2023); ambalaj içi vakum uygulamaları oksidatif esmerleşme ve lezzet kaybını baskılamakta, hızlı dondurma işlemi ise küçük ve homojen buz kristalleri oluşturarak ürün kalitesini yavaş dondurmaya kıyasla çok daha iyi korumaktadır (Ghaly vd., 2010; Owusu-Apenten & Vieira, 2023).

Toz ürünlerde temel strateji, püskürterek veya dondurarak kurutma yoluyla su aktivitesini kritik seviyelerin altına düşürmek ve gıdayı amorf yapıdan yüksek viskoziteli camsı faza geçirerek moleküler hareketliliği kısıtlayarak enzimatik veya hidrolitik bozulmaları azaltmaktır (Ghaly vd., 2010; Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Bu ürünlerde çevresel ve biyolojik tehditlere karşı en temel koruma stratejisi ambalajlamadır. Cam ve metal materyaller tam bir bariyer sağlarken, plastik materyallerde migrasyon kaynaklı toksikolojik riskler dikkate alınmalıdır (Marsh & Burgusu, 2007). Bu ürünlerin kalitesini korumak için günümüzde vakum, modifiye atmosfer (MAP), nanoteknolojik aktif ambalajlama gibi yenilikçi oksijen kontrol yöntemleri ve bariyer laminatlar tercih edilmektedir (Wikström vd., 2019; Owusu-Apenten & Vieira, 2023). Çevresel etkiyi azaltan koruyucu ambalajlar ve RFID destekli akıllı tasarımlar, gıda israfının önüne geçerek sürdürülebilir raf ömrü yönetiminin geleceğini şekillendirmektedir (Wikström vd., 2019).

Yeni teknolojiler ve gelecek eğilimleri

Özel beslenme ürünlerinde yeni teknolojiler, gıda güvenliği, raf ömrü yönetimi ve gıdalarda kişiselleştirme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle dijital izlenebilirlik ve blok zinciri uygulamaları, üretimden tüketime tüm tedarik zinciri kayıtlarının şeffaf, güvenilir ve değiştirilemez biçimde tutulmasını sağlayan sistemler olarak öne çıkmaktadır (Pavithra vd., 2025). Blok zinciri teknolojisinin, süt, et, balık, taze ürünler gibi farklı gıda ürünlerinde izlenebilirlik amacıyla giderek

daha fazla değerlendirildiği görülmektedir. Bu teknolojilerin, özellikle bebek ve yaşlı gruplar için kritik önem taşıyan süt ürünlerinde güvenilirliği büyük ölçüde güçlendireceği vurgulansa da endüstriyel entegrasyondaki teknik ve operasyonel zorluklar halen sürmektedir (Xu vd., 2022; Pavithra vd., 2025). Karmaşık gıda veri setlerinin analizinde öne çıkan yapay zekâ (makine ve derin öğrenme) sistemleri ise, patojenlerin tespiti ile pestisit, ağır metal, mikotoksin gibi kimyasal kontaminantların tahmin edilmesinde yüksek doğruluk sağlayarak, risklerin hızlı bir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Mangmee vd., 2020; Ye vd., 2022; Yang vd., 2025).

Dijital yeniliklerin yanı sıra, ürün stabilitesini ve formülasyon esnekliğini fiziksel olarak sağlayan inovasyonlar da hızla gelişmektedir. Sensör, indikatör ve biyosensörler yardımıyla gıdanın tazeliği hakkında veri sunan sistemler akıllı ambalaj olarak; oksijen tutucu, nem düzenleyici ve antimikrobiyal özelliklerle matrise doğrudan müdahale eden teknolojiler ise aktif ambalaj olarak tanımlanmaktadır (Du vd., 2023; Narayana vd., 2025). Ancak ambalajlarda kullanılan biyopolimerize materyallerin gıdaya tehlikeli madde geçirmediğini doğrulamak için katı migrasyon ve toksisite testleri zorunlu olup (Hou vd., 2023), bu teknolojilerin pek çoğu ticari sistemlere henüz tam olarak entegre edilememiştir (Du vd., 2023). Üretim aşamasında öne çıkan üç boyutlu (3B) gıda baskı teknolojisi ise, disfaji hastaları gibi özel gereksinimli bireyler için besin içeriği, tekstür ve ürün görünümünün tek bir proseste hassasiyetle kişiselleştirilmesini sağlamaktadır (Kang & Park, 2025). Ancak cihazlardaki çoklu ısı işlemlerin yarattığı mikrobiyal riskleri ve çapraz bulaşmaları bertaraf etmek için her kullanımda standart sanitasyon elzemdir (Abedini vd., 2024). Günümüzde 3B baskılı gıdaların üretimini doğrudan düzenleyen herhangi bir standart veya mevzuat bulunmamakla birlikte, bazı bölgelerde bu ürünler yeni gıda kapsamında değerlendirilebilmektedir. Ayrıca ISO gibi kuruluşlar mevcut standartlarını 3B baskı teknolojilerini kapsayacak şekilde yenilemektedirler (Tran, 2019; Abedini vd., 2024).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Özel beslenme ürünleri, bebekler, küçük çocuklar, yaşlı bireyler, bağışıklık sistemi baskılanmış hastalar, disfaji hastaları, metabolik bozukluğu bulunan bireyler ve özel tıbbi amaçlı gıdalara bağımlı gruplar tarafından tüketildiğinden, geleneksel gıda güvenliği yaklaşımlarına

kıyasla daha düşük risk toleransı gerektiren çok boyutlu bir değerlendirme kapsamında ele alınmalıdır. Bu ürünlerde gıda güvenliği, mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeler, etiket doğruluğu, formülasyon güvenilirliği, raf ömrü, izlenebilirlik ve kullanım koşulları birlikte ele alınarak değerlendirilmelidir.

Özel beslenme ürünlerinde güvenli üretimin temelini HACCP, ISO 22000 ve ön koşul programları oluşturmakta, bu sistemlerin uygulanmasında hedef kitlenin fizyolojik duyarlılığı ve ürünün kullanım amacının dikkate alınması gerekmektedir. Bu ürünlerde, besin ögesi düzeyleri, tekstür özellikleri, mikrobiyolojik güvenlik ve raf ömrü stabilitesi kritik kontrol alanları olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, risk değerlendirmelerinde hassas gruplara özgü maruziyet senaryoları kullanılmalıdır. Mevzuat açısından Türkiye, Avrupa Birliği, ABD ve Kodeks Alimentarius çerçeveleri birlikte değerlendirildiğinde, ortak yaklaşımın tüketici sağlığının korunması, risk temelli gıda güvenliği, doğru etiketleme ve ürün bileşiminin kontrolü üzerine kurulduğu görülmektedir. Bu ürünlerin kullanım talimatları, alerjen uyarıları, sağlık beyanları ve muhafaza koşulları tüketiciyi yanıltmayacak biçimde sunulmalıdır. Özel beslenme ürünlerinin raf ömrü yönetiminde besinsel ve fonksiyonel bileşenlerin korunumunun da gıda güvenliği kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, özel beslenme ürünlerinde hedef popülasyona özgü risk değerlendirmesinde, ürün temelli kritik kontrol parametreleri, doğru etiketleme, izlenebilirlik, raf ömrü yönetimi ve mevzuata uyumun bütüncül biçimde ele alınması gerektiği görülmektedir. Yeni teknolojilerin ise güvenlik, mevzuata uygunluk ve standardizasyon süreçlerinin doğrulanması durumunda gıda güvenliğinde destekleyici araçlar olarak kullanılabileceği görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abedini, A., Sohrabvandi, S., Sadighara, P., Hosseini, H., Farhoodi, M., Assadpour, E., Sani, M. A., Zhang, F., Seyyedi-Mansour, S. & Jafari, S. M. (2024). Personalized nutrition with 3D-printed foods: A systematic review on the impact of different additives. *Advances in Colloid and Interface Science*, 328, 103181. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2024.103181>
- Abtahi, M., Fakhri, Y., Oliveri Conti, G., Keramati, H., Zandsalimi, Y., Bahmani, Z., Pouya, R. H., Sarkhosh, M., Moradi, B., Amanidaz, N. & Ghasemi, S. M. (2017). Heavy metals (As, Cr, Pb, Cd and Ni) concentrations in rice (*Oryza sativa*) from Iran and associated risk assessment: a systematic review. *Toxin Reviews*, 36(4), 331-341. DOI: <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1354307>
- Anonim. (2026a). Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=34289&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (E.T.:05.05.2026).
- Anonim. (2026b). Özel Tıbbi Amaçlı Diyet Gıdalar Tebliği. <https://www.saglik.gov.tr/TR-11310/ozel-tibbi-amacli-diyet-gidalar-tebliği.html> (E.T.: 05.05.2026).
- Arienzo, A., Coff, C. & Barling, D. (2008). The European Union and the Regulation of Food Traceability: From Risk Management to Informed Choice? İçinde C. Coff, D. Barling, M. Korthals ve T. Nielsen (Editörler), *Ethical Traceability and Communicating Food* (s. 23-42). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8524-6_2
- Astolfi, M. L., Marotta, D., Cammalleri, V., Marconi, E., Antonucci, A., Avino, P., Canepari, S., Vitali, M. & Protano, C. (2021). Determination of 40 elements in powdered infant formulas and related risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5073. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105073>
- Awuchi, C. G. (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2176280. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280>
- Balogh-Hartmann, F., Páger, C., Dávidovics, A., Nagy, S., Marosvölgyi, T., & Makszin, L. (2025). A Microfluidic Approach for Profiling Total Nitrogen Content in Age-Specific Nutritional Formulas Using Microchip Gel Electrophoresis. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(17), 8233. <https://doi.org/10.3390/ijms26178233>
- Baynes, R. E., Dedonder, K., Kissell, L., Mzyk, D., Marmulak, T., Smith, G., Tell, L., Gehring, R., Davis, J. & Riviere, J. E. (2016). Health concerns and management of select veterinary drug residues. *Food and Chemical Toxicology*, 88, 112-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2015.12.020>
- Beyene, T. (2016). Veterinary drug residues in food-animal products: its risk factors and potential effects on public health. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 7(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7579.1000285>
- Bresson, J. L., Burlingame, B., Dean, T., & Fairweather-Tait, S. (2021). Scientific and technical guidance on foods for special medical purposes in the context of Article 3 of Regulation (EU) No 609/2013. *EFSA Journal*, 19(3), e06544. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6544>
- Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M. & Nicoli, M. C. (2019). Accelerated shelf life testing. İçinde *Food Quality and Shelf Life* (ss. 359-392). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00012-4>
- Charlebois, S., Sterling, B., Haratifar, S., & Naing, S. K. (2014). Comparison of global food traceability regulations and requirements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1104-1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12101>
- Chaudhary, A., Gustafson, D., & Mathys, A. (2018). Multi-indicator sustainability assessment of global food systems. *Nature communications*, 9(1), 848. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03308-7>

- Chauhan, B., Kumar, G., Kalam, N. & Ansari, S. H. (2013). Current concepts and prospects of herbal nutraceutical: A review. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 4(1), 4-8. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.107494>
- Codex Alimentarius Commission. (2003). [Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for Its Application]. Rome: FAO/WHO.
- Codex Alimentarius Commission. (2022). Joint FAO/WHO Food Standards Programme, CCEXEC Sub-Committee on New Food Sources and Production Systems – Report.
- Codex Alimentarius Commission. (2025). [Codex Alimentarius Commission Procedural Manual]. Rome, Italy.
- Çopuroğlu, G., Doğru, A. K. & Ayaz, N. D. (2015). Türk Gıda Mevzuatında Risk Analizi. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 26(1), 23-28.
- De Boer, A., Krul, L., Fehr, M., Geurts, L., Kramer, N., Urbiet, M. T., van der Harst, J., van der Water, B., Venema, K., Schütte, K. & Hepburn, P. A. (2020). Animal-free strategies in food safety and nutrition: What are we waiting for? Part I: Food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 469-484. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.034>
- De Vos, P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20(4), 292-302. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.008>
- Donovan, S. M., Abrahams, M., Anthony, J. C., Bergia, R., Blander, G., Brisbois, T. D., Keck, A. S., Moore, E. G., Morck, T. A., Nieman, K. M., Ordovas, J. M., Steiber, A., Winters, B. L. & Wu, T. (2025). Perspective: Challenges for personalized nutrition in the current United States regulatory framework and future opportunities. *Advances in Nutrition*, 16(3), 100382. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100382>
- Du, H., Sun, X., Chong, X., Yang, M., Zhu, Z., & Wen, Y. (2023). A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 141, 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ), Koutsoumanis, K., Allende, A., Bolton, D., Bover-Cid, S., Chemaly, M., De Cesare, A., Herman, L., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Nonno, R., Peixe, L., Ru, G., Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Fox, E., Gosling, R., Melero Gil, B. M., Møretør, T., Stessl, B., da Silva Felício, M. T., Messens, W., Simon, A. C. & Alvarez-Ordóñez, A. (2024). Persistence of microbiological hazards in food and feed production and processing environments. *EFSA Journal*, 22(1), e8521. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8521>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2015). Scientific and technical guidance on foods for special medical purposes in the context of Article 3 of Regulation (EU) No 609/2013. *EFSA Journal*, 13(11), 4300. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4300>
- EFSA Scientific Committee, More, S. J., Benford, D., Hougaard Bennekou, S., Bampidis, V., Bragard, C., Halldorsson, T. I., Hernández-Jerez, A. F., Koutsoumanis, K., Lambré, C., Machera, K., Mullins, E., Nielsen, S. S., Schlatter, J., Schrenk, D., Turck, D., Naska, A., Poulsen, M., Ranta, J., Sand, S., Wallace, H., Bastaki, M., Liem, D., Smith, A., Ververis, E., Zamariola, G. & Younes, M. (2024). Guidance on risk–benefit assessment of foods. *EFSA Journal*, 22(7), e8875. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8875>
- European Commission. (2015). Commission Delegated Regulation (EU) 2016/128 of 25 September 2015 supplementing Regulation (EU) No 609/2013 of the European Parliament and of the Council as regards the specific compositional and information requirements for food for special medical purposes. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2016/128/oj (E.T.: 08.05.2026).

- European Food Safety Authority (EFSA). (2026). <https://www.efsa.europa.eu/en/multimedia/efsa-at-a-glance#who-we-are>, (E.T.:29.04.2026).
- FAO and WHO. (2006). Food safety risk analysis: A guide for national food safety authorities. FAO Food and Nutrition Paper Volume. 87. Rome.
- FAO and WHO. (2021). Microbiological risk assessment - Guidance for food. Microbiological Risk Assessment Series No. 36. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb5006en>.
- FAO ve WHO. (2023). General Principles of Food Hygiene. Codex Alimentarius Code of Practice, No. CXC 1-1969. Rome: Codex Alimentarius Commission. <https://doi.org/10.4060/cc6125en>
- Ferreira, S. L., Cerda, V., Cunha, F. A., Lemos, V. A., Teixeira, L. S., dos Santos, W. N., Coutinho, J. D. J., Porto, I. S. A., & de Jesus, R. F. (2023). Application of human health risk indices in assessing contamination from chemical elements in food samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 167, 117281. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117281>
- Fletcher, M. T., & Netzel, G. (2020). Food safety and natural toxins. *Toxins*, 12(4), 236. <https://doi.org/10.3390/toxins12040236>
- Friedman, M., & Rasooly, R. (2013). Review of the inhibition of biological activities of food-related selected toxins by natural compounds. *Toxins*, 5(4), 743-775. <https://doi.org/10.3390/toxins5040743>
- Frydrych, A., Frankowski, M., & Jurowski, K. (2024). The toxicological analysis and safety assessment of heavy metals (Hg, Pb, Cd, and As) in food for special medical purposes (FSMP) available in Polish pharmacies for oncological patients. *Food and Chemical Toxicology*, 192, 114932. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114932>
- Food and Drug Administration (2024). Food Safety Modernization Act (FSMA). <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma>. (E.T.:09.05.2026).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2026). <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/committees/committee/en/?committee=CCNFSDU>. (E.T.: 29.04.2026).
- Fortin, N. D. (2016). *Food Regulation: Law, Science, Policy, and Practice* (2. bs.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119341178>
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.859.877>
- Gilsenan, M. B. (2011). Nutrition ve health claims in the European Union: A regulatory overview. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 536-542. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.03.004>
- Golan, E., Krissoff, B., & Kuchler, F. (2004). Food Traceability: One Ingredient in a Safe and Efficient Food Supply. *Amber Waves*, 2(2), 14. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.129805>
- Gulati, O. P. & Ottaway, P. B. (2006). Legislation relating to nutraceuticals in the European Union with a particular focus on botanical-sourced products. *Toxicology*, 221(1), 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.01.014>
- Hakim, M. P., Zanetta, L. D. A., de Oliveira, J. M., & da Cunha, D. T. (2020). The mandatory labeling of genetically modified foods in Brazil: Consumer's knowledge, trust, and risk perception. *Food Research International*, 132, 109053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109053>
- Houet, M. N., Tommasino, M., Mercuri, M. L., Benedetti, F., Di Bella, S., Framboas, M., Pelli, S. & Altissimi, M. S. (2019). Experimental accelerated shelf life determination of a ready-

- to-eat processed food. *Italian Journal of Food Safety*, 7(4), 6919. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.6919>
- Harrigan, P. B., Misyak, S. A., Volpe, S. L., Hedrick, V. E., Kim, M., Zheng, S., & Schenk, T. (2025). Policy changes to US federal infant feeding laws and regulations from 2014–2023: evidence that the 2022 infant formula shortage had a narrow policy impact. *Health Affairs Scholar*, 3(6), qxaf096. <https://doi.org/10.1093/haschl/qxaf096>
- Hou, T., Ma, S., Wang, F., & Wang, L. (2023). A comprehensive review of intelligent controlled release antimicrobial packaging in food preservation. *Food Science and Biotechnology*, 32(11), 1459–1478. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01344-8>
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods. (2018). Microorganisms in foods 7: Microbiological testing in food safety management (2. bs.). Springer.
- International Finance Corporation. (2020). Food Safety Handbook: A Practical Guide for Building a Robust Food Safety Management System. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1548-5>
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 22000:2018 – Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain. <https://www.iso.org/standard/65464.html>. (E.T.: 03.05.2026).
- Kang, H. J. & Park, Y. K. (2025). Food for special medical purposes: A global review of usage trends, regulatory frameworks, and key growth drivers. *Clinical Nutrition Research*, 14(2), 146. <https://doi.org/10.7762/cnr.2025.14.2.146>
- Koeberl, M., Clarke, D., Allen, K. J., Fleming, F., Katzer, L., Lee, N. A., Lopata, A. L., Said, M., Scheelings, P., Shepherd, N., Sherlock, R. & Roberts, J. (2018). Food Allergen Management in Australia. *Journal of AOAC International*, 101(1).
- Kolodinsky, J., & Lusk, J. L. (2018). Mandatory labels can improve attitudes toward genetically engineered food. *Science Advances*, 4(6), eaaq1413. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq1413>
- Komala, M. G., Ong, S. G., Qadri, M. U., Elshafie, L. M., Pollock, C. A. & Saad, S. (2023). Investigating the regulatory process, safety, efficacy and product transparency for nutraceuticals in the USA, Europe and Australia. *Foods*, 12(2), 427. <https://doi.org/10.3390/foods12020427>
- Konings, E. J., Roux, A., Reungoat, A., Nicod, N., Campos-Giménez, E., Ameye, L., Bucheli, P., Alloncle, S., Dey, J., Daix, G., Gill, B. D., Indyk, H. E., Crawford, R. A., Kissling, R., Holroyd, S. E., van Gool, M. P., Broek, A. P., Cruijnsen, H. M. M., Starkey, D. E., & Moulin, J. (2021). Challenge to evaluate regulatory compliance for nutrients in infant formulas with current state-of-the-art analytical reference methods. *Food Control*, 119, 107423. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107423>
- Lammardo, A. M., Robert, M., Rocha, J. C., Van Rijn, M., Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., MacDonald, A., Dokoupil, K., Ozel, H. G. & Feillet, F. (2013). Main issues in micronutrient supplementation in phenylketonuria. *Molecular Genetics and Metabolism*, 110, S1-S5. <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2013.08.008>
- Lawley, R., Curtis, L. & Davis, J. (2015). *The Food Safety Hazard Guidebook*. Royal Society of Chemistry.
- Livingstone, K. M., Ramos-Lopez, O., Pérusse, L., Kato, H., Ordovas, J. M. & Martínez, J. A. (2022). Precision nutrition: A review of current approaches and future endeavors. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.017>
- Mangmee, S., Reamtong, O., Kalambaheti, T., Roytrakul, S., & Sonthayanon, P. (2020). MALDI-TOF mass spectrometry typing for predominant serovars of non-typhoidal Salmonella in a Thai broiler industry. *Food Control*, 113, 107188. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107188>

- Manning, L., & Soon, J. M. (2017). An alternative allergen risk management approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(18), 3873-3886. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1185085>
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39-R55. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- Martini, D., & Menozzi, D. (2021). Food labeling: analysis, understanding, and perception. *Nutrients*, 13(1), 268. <https://doi.org/10.3390/nu13010268>
- Messer, K. D., Costanigro, M., & Kaiser, H. M. (2017). Labeling food processes: the good, the bad and the ugly. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 39(3), 407-427. <https://doi.org/10.1093/aep/ppx028>
- Mojduszka, E. M., & Caswell, J. A. (2000). A test of nutritional quality signaling in food markets prior to implementation of mandatory labeling. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(2), 298-309. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00026>
- Motarjemi, Y. (2014). Public Health Measures: Modern Approach to Food Safety Management: An Overview. İçinde Encyclopedia of Food Safety (1. bs., Cilt 1). San Diego: Elsevier.
- Motarjemi, Y. & Lelieveld, H. (2014). Fundamentals in Management of Food Safety in the Industrial Setting: Challenges and Outlook of the 21st Century. İçinde Y. Motarjemi ve H. Lelieveld (Editörler), *Food Safety Management* (s. 1-20). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381504-0.00001-9>
- Muncke, J. (2011). Endocrine disrupting chemicals and other substances of concern in food contact materials: an updated review of exposure, effect and risk assessment. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 127(1-2), 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2010.10.004>
- Narayana, G. P., Singh, D. K., Chudasama, M. H., Deotale, S., Reddy, N. B. P., & Thivya, P. (2025). Intelligent packaging of functional foods: A comprehensive review of its advances, recyclability, and regulatory frameworks. *Bioresource Technology Reports*, 102449. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102449>
- Niu, Y., Fan, Y., & Zhang, J. (2025). Progress and challenge in the risk management of food additives. *Journal of Food Protection*, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100607>
- Olsen, P., & Borit, M. (2018). The components of a food traceability system. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.004>
- Owusu-Apenten, R. K., & Vieira, E. R. (2023). Elementary food science (No. 303022). Cham: Springer.
- Pavithra, T., Rawat, S., & Sunil, C. K. (2025). Recent trends in blockchain traceability of food products: a review. *Food and Humanity*, 5, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100666>
- Pedro, A. M., & Ferreira, M. M. (2006). Multivariate accelerated shelf-life testing: a novel approach for determining the shelf-life of foods. *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, 20(1-2), 76-83. <https://doi.org/10.1002/cem.995>
- Pirsaheb, M., Fattahi, N., Sharafi, K., Khamotian, R., & Atafar, Z. (2016). Essential and toxic heavy metals in cereals and agricultural products marketed in Kermanshah, Iran, and human health risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 9(1), 15-20. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1099570>
- Ragnarsson, J. O., & Labuza, T. P. (1977). Accelerated shelf-life testing for oxidative rancidity in foods—A review. *Food Chemistry*, 2(4), 291-308. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(77\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(77)90047-4)
- Ren, S., Zhang, G., Wang, Z., Sun, F., Cheng, T., Wang, D., Sun, F., Cheng, T., Wang, D., Yang, H., Wang, Z. & Guo, Z. (2024). Potentially texture-modified food for dysphagia: Gelling,

- rheological, and water fixation properties of rice starch–soybean protein composite gels in various ratios. *Food Hydrocolloids*, 153, 110025. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110025>
- Renwick, A. G., Barlow, S. M., Hertz-Picciotto, I., Boobis, A. R., Dybing, E., Adler, L., Eisenbrand, G., Greig, J. B., Kleiner, J., Lambe, J., Müller, D. J., Smith, M. R., Tritscher, A., Tuijelaars, S., van den Brandt, P. A., Walker, R., & Kroes, R. (2003). Risk characterisation of chemicals in food and diet. *Food and Chemical Toxicology*, 41(9), 1211-1271. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00064-4)
- Resmî Gazete. (2023, 20 Nisan). Gıda ve Takviye Edici Gıdalarda Sağlık Beyanı Kullanımı Hakkında Yönetmelik (Sayı: 32169).
- Resmî Gazete. (2026, 20 Mayıs). Türk Gıda Kodeksi Yeni Gıdalar Yönetmeliği (Sayı: 33259).
- Roman, S., & Sanchez-Siles, L. (2025). A closer look at infant food safety: A comprehensive review comparing contaminants across different food sources. *Food Control*, 169, 111018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111018>
- Röttger-Wirtz, S. & Alie, D. E. (2021). Personalised nutrition: The EU's fragmented legal landscape and the overlooked implications of EU food law. *European Journal of Risk Regulation*, 12(1), 212-235. <https://doi.org/10.1017/err.2020.79>
- Samarasiri, M., Chai, K. F. & Chen, W. N. (2023). Forward-looking risk assessment framework for novel foods. *Food and Humanity*, 1, 500-513. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.06.020>
- Santini, A., Cammarata, S. M., Capone, G., Ianaro, A., Tenore, G. C., Pani, L., & Novellino, E. (2018). Nutraceuticals: Opening the debate for a regulatory framework. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 84(4), 659-672. <https://doi.org/10.1111/bcp.13496>
- Schwägele, F. (2005). Traceability from a European perspective. *Meat Science*, 71(1), 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.002>
- Shan, F., Liu, L., Li, L., Wang, W., Bi, Y., & Li, M. (2025). Management, safety, and efficacy evaluation of nutraceutical and functional food: A global perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(4), e70222. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70222>
- Shi, H., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Li, C. (2024). Potential of 3D printing in development of foods for special medical purpose: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), e70005. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70005>
- Smith, G. C., Tatum, J. D., Belk, K. E., Scanga, J. A., Grandin, T., & Sofos, J. N. (2005). Traceability from a US perspective. *Meat Science*, 71(1), 174-193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.002>
- Soon, J. M. (2019). Food allergen knowledge, attitude and practices among UK consumers: A structural modelling approach. *Food Research International*, 120, 375-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.008>
- Stein, K. (2015). Effective allergen management practices to reduce allergens in food. *İçinde Handbook of Food Allergen Detection and Control* (ss. 103-131). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781782420217.1.103>
- Stuart, S. A. (2010). The relationship between mandatory and other food label information. *British Food Journal*, 112(1), 21-31. <https://doi.org/10.1108/00070701011011173>
- Tedesco, D. E. A. & Cagnardi, P. (2019). Regulatory Guidelines for Nutraceuticals in the European Union. *İçinde R. Gupta, A. Srivastava ve R. Lall (Editörler), Nutraceuticals in Veterinary Medicine*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04624-8_58
- Tran, J. L. (2019). Safety and labelling of 3D printed food. *İçinde Fundamentals of 3D Food Printing and Applications* (ss. 355-371). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814564-7.00012-2>

- Türk Standardları Enstitüsü. (2024). TS EN ISO 22000:2024 Gıda güvenliği yönetim sistemleri. <https://www.tse.org.tr/ts-en-iso-22000-gida-guvenligi-yonetim-sistemi/>. (E.T.: 04.05.2026).
- U.S. Food and Drug Administration. (2023). Frequently Asked Questions About Medical Foods; Guidance for Industry (3. bs.). Silver Spring: Food and Drug Administration.
- Ullah, A. A., Afrin, S., Hosen, M. M., Musarrat, M., Ferdoushy, T., Nahar, Q., ve Quraishi, S. B. (2022). Concentration, source identification, and potential human health risk assessment of heavy metals in chicken meat and egg in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(15), 22031-22042. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17342-4>
- Van Asselt, E. D., Hobé, R. G., Hoek-van Den Hil, E. F., & Van Der Fels-Klerx, H. J. (2024). Risk ranking of chemical hazards in food and feed—A case study in cereals in the Netherlands. *Food Control*, 157, 110188. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110188>
- Van Egmond, H. P. (2004). Natural toxins: risks, regulations and the analytical situation in Europe. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 378(5), 1152-1160. <https://doi.org/10.1007/s00216-003-2373-4>
- Vergis, J., Pollumahanti, N., Sahu, R., Rawool, D. B., & Barbuddhe, S. B. (2025). Ensuring food safety: microbiological risk assessment strategies. *Current Opinion in Food Science*, 62, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101272>
- Verhagen, H., Vos, E., Francé, S., Heinonen, M., & van Loveren, H. (2010). Status of nutrition and health claims in Europe. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 501(1), 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.04.012>
- Ververis, E., Ackerl, R., Azzollini, D., Colombo, P. A., de Sesmaisons, A., Dumas, C., Fernandez-Dumont, A., Ferreira da Costa, L., Germini, A., Goumperis, T., Kouloura, E., Matijevic, L., Precup, G., Roldan-Torres, R., Rossi, A., Svejstl, R., Turla, E. & Gelbmann, W. (2020). Novel foods in the European Union: Scientific requirements and challenges of the risk assessment process by the European Food Safety Authority. *Food Research International*, 137, 109515. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109515>
- Ward, R., Crevel, R., Bell, I., Khandke, N., Ramsay, C., & Paine, S. (2010). A vision for allergen management best practice in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 21(12), 619-625. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.004>
- Wikström, F., Verghese, K., Auras, R., Olsson, A., Williams, H., Wever, R., Grönman, K., Pettersen, M. K., Möller, H. & Soukka, R. (2019). Packaging strategies that save food: a research agenda for 2030. *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 532-540. <https://doi.org/10.1111/jiec.12769>
- World Health Organization (WHO). (2024). Food safety. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>. (E.T.: 04.05.2026).
- Wu, L., Zhang, L., & Zhang, Y. (2019). A review on rules for examination of licensing criteria for producing foods for special medical purpose in China. *Food Science and Human Wellness*, 8(2), 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.05.005>
- Xu, Y., Li, X., Zeng, X., Cao, J., & Jiang, W. (2022). Application of blockchain technology in food safety control: Current trends and future prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2800-2819. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1858752>
- Yang, X., Ho, C. T., Gao, X., Chen, N., Chen, F., Zhu, Y. & Zhang, X. (2025). Machine learning: An effective tool for monitoring and ensuring food safety, quality, and nutrition. *Food Chemistry*, 477, 143391. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143391>
- Ye, W., Yan, T., Zhang, C., Duan, L., Chen, W., Song, H., Zhang, Y., Xu, W. & Gao, P. (2022). Detection of pesticide residue level in grape using hyperspectral imaging with machine learning. *Foods*, 11(11), 1609. <https://doi.org/10.3390/foods11111609>
- Yılmaz Usta, D. (2025). Özel tıbbi amaçlı gıdaların değerlendirilmesi. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 49(2), 562-578. <https://doi.org/10.33483/jfpau.1523350>

Zolfaghari, G., Atash, Z. A. S., & Sazgar, A. (2018). Baseline heavy metals in plant species from some industrial and rural areas: Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *MethodsX*, 5, 43-60. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.01.003>