

BİDGE Yayınları

Gıda Güvenliği, Sağlık Riskleri ve Besin Etkileşimleri

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Mukaddes Kılıç Bayraktar

ISBN: 978-625-372-531-0

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İçindekiler

Prebiyotikler: Fonksiyonel Gıda Bileşeni	4
Bahtınur TAŞCI	4
Keçi Sütü İle Koyun Sütünün Gaz Ve Sıvı Kromatografik Analizlerinin Karşılaştırılması	31
Gülcan GÖLBASI	31
Ozcan Baris ÇİTİL	31
Helal Uygunluk Doğrulama Analizlerinde Kullanılan İleri Gıda Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi	46
İsra YİĞİTVAR.....	46
Gıda Atıklarının Katma Değeri Yüksek Ürünlere Dönüştürmede Önemli Aktörler, Enzimler: Döngüsel Ekonomi ve Yeşil Kimya Çerçevesinde	88
Nurcan DEDEOĞLU	88
Pırıl TEKİN	88
Sarkopeni’li Yaşlı Bireylerde Gıda Alımı ve Beslenme	136
Tuğba GÜL DİKME	136
Gıdaların Ambalajlanmasında Biyobozunur Materyallerin Kullanımı	153
Zeliha Gözde KAYA.....	153
Sami Gökhan ÖZKAL.....	153

BÖLÜM I

Prebiyotikler: Fonksiyonel Gıda Bileşeni

Bahtınur TAŞCI¹

Son yüzyılda, insan beslenmesi beslenme ihtiyaçlarımızın tanımlanmasından ve bunları karşılama yollarının belirlenmesinden, fizyolojik ve psikolojik işlevlerimizi optimize edebilecek gıda bileşenlerinin belirlenmesine doğru evrilmiştir. Yaşam boyunca refahı, sağlığı ve hastalıklara karşı duyarlılığı azaltmayı amaçlayan bu gelişme, "fonksiyonel gıdalar" kavramının doğmasına neden olmuştur (Louis, Flint & Michel, 2016).

Tüketicinin daha sağlıklı bir beslenme talebini karşılamak için fonksiyonel gıda pazarı, yenilikçi fonksiyonel gıdaların geliştirilmesine yol açan araştırma çalışmalarına sürekli olarak yatırım yapmaktadır. Fonksiyonel gıdalar, "Belirli biyobelirteçleri kullanarak kronik hastalıkların veya semptomlarının önlenmesi, yönetimi veya tedavisi için klinik olarak kanıtlanmış ve belgelenmiş bir sağlık yararı sağlayan, tanımlanmış, etkili ve toksik olmayan miktarlarda biyolojik olarak aktif bileşikler içeren doğal veya işlenmiş gıdalar" olarak tanımlanmıştır. Gıda sektörü artık

¹ Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Samsun/Türkiye, Orcid: 0000-0003-3768-7363, bahtinur.tasci@omu.edu.tr

tüketicilerin günlük diyetine dahil edilecek yenilikçi fonksiyonel gıdalar geliştirmek için sürekli olarak çalışmaktadır. Bunlar arasında, bağırsak mikrobiyomu üzerindeki yararlı etkileriyle bilinen prebiyotiklerle güçlendirilmiş ürünler geliştirilmiştir (Bavaro & ark., 2024).

Nutrasötikler ve fonksiyonel gıdalar tüketicilerin sağlıklarını ve sağlıklı yaşamlarını yönetmeleri için önemli bir araç haline gelmiştir. Pre-, pro- ve sinbiyotikler, gastrointestinal sistemi modüle edebilen özelliklere sahip olduğu gösterilen bu ürün grubunun bir parçasıdır. Prebiyotikler asidik ve enzimatik etkilere dayanıklı polisakkaritlerdir. Prebiyotikler kalın bağırsaktaki probiyotiklerin büyümesini, aktivitesini ve çoğalmasını sağlayan bileşiklerdir. Bu bileşikler ayrıca bağıışıklığı ve mineral emilimini artırarak, kolon kanserini ve gastrointestinal hastalıkları önleyerek, kolesterolü düşürerek konakçının sağlığına faydalı etkiler sağlamaktadır. Prebiyotikler, örneğin inülin, oligofruktoz, oligolaktoz ve laktuloz, birçok bitkide doğal olarak bulunmakta veya uygun enzimler kullanılarak nişasta veya diğer karbonhidratlardan sentezlenebilmektedir (Thammarutwasik & ark., 2009).

Prebiyotikler ilk olarak "kolondaki bir veya sınırlı sayıda bakterinin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyararak konakçıyı faydalı bir şekilde etkileyen ve böylece konakçı sağlığını iyileştiren sindirilemeyen gıda bileşenleri" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım daha sonra belirli mikroorganizmaların seçici olarak hedeflenmesinden fayda sağlayabilecek diğer alanları da içine alarak "Gastrointestinal mikrofloranın hem bileşiminde hem de aktivitesinde yararlı değişiklikler yapabilen seçici olarak fermente edilen bileşikler" olarak geliştirilmiştir (Slavin, 2013). Beslenme bilimlerinde insan bağırsağının diyetel modülasyonuna büyük ilgi vardır. Prebiyotikler tarafından bağırsak mikroflorasının diyetel modülasyonu, bifidobakterilerin ve laktobasillerin sayılarını ve/veya aktivitelerini uyararak sağlığı iyileştirmek için tasarlanmıştır. Optimum bir bağırsak mikroflorasına sahip olmak, patojen bakterilere karşı direnci artırabilmekte, bağıışıklık tepkisinin uyarılmasını artırabilmekte ve kanser riskini azaltabilmektedir (Manning & Gibson, 2004).

2. Prebiyotiklerin Türleri ve Kaynakları

Prebiyotikler çoğunlukla sindirilemeyen gıda bileşenleri olan ve kolondaki bazı mikroorganizma türlerinin (genellikle laktobasiller ve bifidobakteriler) büyümesini ve/veya aktivitesini uyarak konakçının sağlığını olumlu yönde etkileyen seçici olarak fermente edilmiş bileşenlerdir (Pandey, Naik & Vakil, 2015).

Bir bileşiği prebiyotik olarak sınıflandırmak için şu kriterler kullanılmaktadır: (a) mide asidik pH'ına dayanıklı olmalı, vücut enzimleri tarafından hidrolize edilememeli ve ayrıca gastrointestinal sistemde emilmemelidir, (b) bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilmeli ve (c) bağırsak bakterilerinin büyümesi ve/veya aktivitesini seçici olarak uyaramelidir (Davani-Davari & ark., 2019).

“Prebiyotik” kelimesi, her biri farklı yapılara ve etki biçimlerine sahip çok çeşitli maddeleri ifade eder. Prebiyotikler, dirençli nişastalardan oligosakkaritlere kadar birçok formda bulunurlar. Her prebiyotik türünün sağlık açısından benzersiz nitelikleri ve avantajları vardır. Bu bileşikler, üst gastrointestinal sistemde sindirime dayanabilir ve faydalı bağırsak bakterileri tarafından fermentasyon için substrat görevi gördükleri kolona kadar ulaşabilirler. Bu fermentasyon, kısa zincirli yağ asitleri (SCFA'lar) ve diğer bileşikler gibi sağlık açısından avantajlı olabilecek metabolitler üretir (Obayomi, Olaniran, & Owa, 2024).

Laktuloz, galaktooligosakkaritler, fruktooligosakkaritler, ksilooligosakkarit, maltooligosakkaritler, inülin ve hidrolizatları, iki ila on şeker kısmından oluşan yaygın olarak kullanılan bazı prebiyotiklerdir. Galaktooligosakkaritler (GOS) sindirilemez ve memeli sütünde doğal olarak bulunan laktozdan üretilir ve galaktoz monomer zincirlerinden oluşur. İnülin ve inülin tipi fruktanlar bilinen çözünür diyet lifleridir. Ek olarak, selüloz, dekstrinler, pektinler, beta-glukanlar, mumlar ve lignin gibi çeşitli nişasta olmayan polisakkaritler içeren diyet lifleri bağırsaktan geçiş süresini ayarlayabilmekte ve böylece inülin tipi fruktanlarınkiyle aynı yararlı etkileri sunmaktadır. Bu prebiyotiklerin son ürünleri, yani asetat, bütirat ve propiyonat, konak

organizmalar için enerji kaynağı görevi görmektedir. Doğal olarak oluşan prebiyotik, kuşkonmaz, hindiba, domates ve buğday gibi çeşitli yiyeceklerde bulunur ve anne sütünün de doğal bir bileşendir. Birkaç prebiyotik türü ve kaynakları Tablo 1'de özetlenmiştir (Al-Sheraji & ark., 2013; Panesar & ark., 2014).

Tablo 1. Prebiyotiklerin türleri ve kaynakları

Prebiyotik türü	Prebiyotik kaynakları
Fruktooligosakkaritler	Kuşkonmaz, şeker pancarı, sarımsak, hindiba, soğan, yer elması, buğday, bal, muz, arpa, domates ve çavdar
İzomaltüloz	Bal, şeker kamışı suyu
Ksilooligosakkaritler	Bambu filizleri, meyve, sebze, süt, bal ve buğday kepeği
Galaktooligosakkaritler	İnsan sütü ve inek sütü
Siklodekstrinler	Suda çözünen glukanlar
Rafinoz oligosakkaritler	Baklagiller, mercimek, bezelye, fasulye, nohut, ebegümeci ve hardal tohumları
Soya fasulyesi oligosakkariti	Soya fasulyesi
Laktuloz	Laktoz (Süt)
Laktosükroz	Laktoz
İzomaltüloz	Sakaroz
Palatinoz	Sakaroz
Maltooligosakkaritler	Nişasta
İzomaltooligosakkaritler	Nişasta
Arabinoksilooligosakkaritler	Buğday kepeği
Enzime dirençli dekstrin	Patates nişastası

Kaynak: (Al-Sheraji & ark., 2013)

2.1. Galaktooligosakkaritler

GOS, doğal fonksiyonlara sahip bir oligosakkarit, sütte bulunan önemli bir aktif madde ve yaygın olarak kullanılan bir prebiyotiktir. GOS, bağlanan farklı galaktosidik bağlar nedeniyle α -galaktooligosakkaritler (α -GOS) ve β -galaktooligosakkaritler (β -GOS) olarak ikiye ayrılır. Günümüzde araştırma ve ticari üretim için en çok kullanılanı, laktoz transgalaktozilasyon reaksiyonu yoluyla β -galaktozidaz tarafından sentezlenen β -GOS'tur. Ancak, şu anda α -GOS üzerine çok az çalışma bulunmaktadır. α -GOS, çeşitli bitkilerde yaygın olarak bulunan bir oligosakkarittir (Mei, Yuan & Li, 2022).

GOS, insan organizması tarafından sindirilemeyen, prebiyotik görevi gören önemli bir oligosakkarit sınıfıdır. GOS, gıda sınıfı oligosakkaritlerin önemli bir sınıfını oluşturur. Yapı, genellikle Gal β (1 $\rightarrow$ 3), Gal β (1 $\rightarrow$ 6) ve Gal β (1 $\rightarrow$ 4) tipindeki glikozidik bağlarla, β -galaktozidaz (EC 3.2.1.23) enzimi tarafından katalize edilen transgalaktosilasyon reaksiyonu ile bağlanan bir terminal glikoz kalıntısı ve galaktoz monomerlerinden oluşur. Genel olarak GOS, Galn-Glc yapısına sahiptir. Burada n, prostepte kullanılan enzim kaynağı ve reaksiyon koşullarından kaynaklanan farklı konfigürasyonları ve kimyasal bileşimleri sunan polimerizasyon derecesini gösterir. GOS alımının faydaları iki ana başlık altında incelenebilir: Birincisi yararlı bakterilerin büyümesini teşvik etmek, ikincisi ise SCFA üretmektir. İlk mekanizma yararlı bakterilerin tutunması ve çoğalması sonucu oluşur ve patojenlerin kolonizasyonuna karşı direnç ve kolondaki enfeksiyonların azalmasına neden olur. İkinci mekanizma ise kolon pH'nın düşmesine yol açarak kolon kanseri riskinin azalması, minerallerin emiliminin artması, lipid seviyelerinin ve kolesterolün kontrol altına alınması, ayrıca bağırsak hareketliliğinin ve kabızlığın iyileştirilmesi gibi çeşitli faydaları sunar (e Souza, Gabardo, & Coelho, 2022).

GOS genellikle laktaz olarak da adlandırılan β -galaktosidaz enzimi tarafından aracılık edilen bir transgalaktosilasyon reaksiyonu yoluyla konsantre laktoz şurubundan üretilir. Transgalaktosilasyon

reaksiyonu, değişen derecelerde polimerizasyona sahip GOS oluşturmak üzere galaktoz birimlerinin bir glikoz son birimine polimerize edildiği bir ara adımdır. GOS, enzimatik reaksiyon kinetiğine, kullanılan enzim kaynağına ve başlangıç laktoz konsantrasyonuna bağlı olarak sakkarit bileşiminde, parçalar arasındaki glikozit bağının türünde ve polimerizasyon derecesinde farklılık gösterebilir. Bu yapısal farklılıklardan kaynaklanan bir dizi önemli fizikokimyasal ve biyolojik sonuç vardır. GOS yapılarındaki farklılıklar, gıda uygulamalarında kullanımlarıyla ilgili kimyasal özelliklerde ve karakteristiklerde farklılıklara yol açar (Lamsal, 2012).

GOS anne sütünde doğal olarak bulunur ve bebek mamaları için ideal bir bileşendir. Bebek mamasına düşük seviyelerde GOS takviyesinin dışkı sıklığını iyileştirdiği, dışkı pH'ını düşürdüğü ve emzirilen bebeklerde olduğu gibi bağırsak bifidobakterileri ve laktobasillerini uyardığı bildirilmiştir. GOS, mükemmel çözünürlüğü nedeniyle yoğurt ve sütlü içecekler gibi süt ürünlerine kolayca eklenebilmektedir. GOS eklendikten sonra yoğurdun yapısı daha pürüzsüz hale gelmektedir. GOS'un stabilitesi nedeniyle meyve sularına ve ieeclere kolayca katılabildiği ve eklendiğinde içeceklerin tadının etkilenmediği görölmüştür (Mei, Yuan & Li, 2022).

2.2. Fruktooligosakkaritler ve İnülin

Fruktooligosakkaritler (FOS), soğan, hindiba, sarımsak, kuşkonmaz, muz, enginar gibi birçok bitkide doğal olarak bulunan oligosakkaritlerdir. β (2-1) bağlarıyla birbirine bağlanmış doğrusal fruktoz birimi zincirlerinden oluşurlar. Diyet FOS'ları ince bağırsak glikozidazları tarafından hidrolize edilmez ve yapısal olarak değişmeden kör bağırsağa ulaşır. Orada, bağırsak mikroflorası tarafından metabolize edilerek kısa zincirli karboksilik asitler, L-laktat, CO₂, hidrojen ve diğer metabolitleri oluştururlar. FOS'ların düşük tatlılık yoğunluğu gibi bir çok özelliği vardır. Ayrıca kalorisizdirler, karyojenik değildirler ve çözünür diyet lifi olarak kabul edilirler. Ayrıca, FOS'un düşük karsinojenite, prebiyotik etki, iyileştirilmiş mineral emilimi ve serum kolesterol, triaçilgliserol ve

fosfolipit seviyelerinin azalması gibi önemli fizyolojik etkileri vardır. Günümüzde FOS, prebiyotik etkisi patojen olmayan bağırsak mikrobiyotasının büyümesini uyardığı için gıda ürünlerine ve bebek mamalarına giderek daha fazla dahil edilmektedir (Sabater-Molina, 2009).

İnülin ise, on binlerce bitkide depo karbonhidratı olarak doğal olarak oluşan bir polisakkarittir. Glikozun en bol depolanan polimeri olan nişastanın aksine, inülin esas olarak fruktoz ünitelerinden oluşur ve bir terminal glikoza sahiptir.

İnülin 30.000'den fazla bitkide bulunur ve başlıca ticari kaynakları, yerelması (*Helianthus tuberosus*) ve dahlia (*Dahlia pinnata*) yumruları ile hindiba (*Cichorium intybus*) ve yacon (*Polymnia sonchifolia*) kökleridir. Bitkilerde inülin, bitki türüne, yaşına ve ekstraksiyon tekniklerine bağlı olarak 2 ila 100 ünite arasında değişen oligo ve fruktoz polisakkaritlerinin bir karışımı olarak bulunur. İnülin, fruktan karbonhidrat grubuna (fruktoz bazlı polimerler) aittir ve esas olarak (2→1) glikozidik bağlarla bağlı β-D-fruktozil alt gruplarından oluşur ve molekül genellikle (1↔2) bağlı bir α-D-glukozil grubu ile sonlanır (Teferra, 2021).

İnülinin prebiyotik özelliklerine odaklanan geniş yelpazedeki çalışmalar, onun kolondaki spesifik bakterilerin (bifidobacterium ve lactobacillus) gelişimini teşvik ettiği ve böylece *Escherichia coli* ve *Clostridium* gibi zararlı türlerin sayısını azalttığını göstermektedir. İnülin, prebiyotik özelliklerinin yanı sıra, yağ ikamesi, şeker ikamesi, emülsiyon ve köpük stabilizatörü gibi teknik ve işlevsel özellikler de göstermektedir. İnülin, yeni işlevsel ürünlerin tasarımında yaygın olarak kullanılan bir diyet bileşenidir. Simbiyotik gıdalar geliştirmek için çeşitli gıdalara tek olarak veya diğer FOS'lar veya probiyotiklerle kombine olarak uygulanmaktadır (González-Herrera & ark., 2015).

İnülin, bugüne kadar en etkili ve iyi bilinen prebiyotiklerden biri olarak kabul edilir. Bunlar, kolon mikroorganizmaları tarafından kolayca fermente edilen çözünür, viskoz olmayan liflerdir. Prebiyotik olarak kabul edilmesinin nedeni, fruktoz

monomerlerindeki β -konfigürasyonundan kaynaklanmaktadır. Prebiyotiğin bağırsak mikrobiyomunun büyümesini seçici olarak destekleme özelliğine göre, çeşitli çalışmalar inülinin, özellikle *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* olmak üzere yararlı mikrobiyomun seçici büyümesi üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir. *Bifidobacteria*, inülini fermente ederek inülinaz üretimine ve β (2–1) bağının hidrolize edilmesine neden olur. Kanıtlar, inülin tipi fruktanlar nedeniyle kalsiyum emilimindeki iyileşmeyi desteklemektedir. Bu inülin tipi fruktanlar, hacim oluşturma kapasiteleri nedeniyle dışkının su içeriğini artırarak kabızlığı önlemeye yardımcı olur ve metabolik bağırsak fonksiyonlarını iyileştirir (Bhanja, Sutar & Mishra, 2022).

3. Gıda Ürünlerinde Prebiyotik Uygulamaları

Prebiyotikler hem önemli teknolojik özellikler hem de besinsel özellikler gösterir (Wang, 2009). Teknolojik özellikleri nedeniyle sindirilemeyen karbonhidratlar gibi bazı prebiyotikler, duyuşal özellikler, doku ve fizikokimyasal özellikler açısından son ürünlerin kalitesinde, lif eklenmesinde, şeker ve yağların kısmen değiştirilmesinde iyileşmelere yol açabilir. Bu nedenle bu bileşikler gıda endüstrisinde, özellikle klasik bileşenleri ikame etme ve/veya klasik bileşenleri oligosakkaritlerle birleştirme amacıyla giderek daha fazla uygulanmaktadır (de Paulo Farias & ark., 2019).

Prebiyotikler atıştırmalıklarda ve gevreklerde raf ömrünü uzatır. Ayrıca ekmek ve kekleri uzun süre nemli ve taze tutarlar. Prebiyotikler ayrıca genellikle fonksiyonel gıdalarda, özellikle tüm süt ürünleri ve ekmek çeşitlerinde diyet lifi olarak kullanılır, çünkü prebiyotik bileşenler sağlıklı bağırsak bakterilerinin büyümesini teşvik eder. Jel oluşturma özellikleri nedeniyle prebiyotikler, tat veya doku üzerinde olumsuz bir etki yaratmadan düşük yağlı gıdaların kalitesini artırır. Bu durum, sofralık sürülebilir ürünler, tereyağı benzeri ürünler, sütlü sürülebilir ürünler, krem peynirler ve işlenmiş peynirler gibi ürünlerde önemlidir (Al-Sheraji & ark., 2013). Özellikle GOS, FOS ve inülin olmak üzere prebiyotiklerin kararlılığı hakkında, esas olarak model sistemler kullanılarak yapılan

deneylerden ve daha az ölçüde gerçek gıdalarla elde edilen önemli miktarda bilgi bulunmaktadır (Charalampopoulos & Rastall, 2012).

GOS suda %100 çözünür ve şeffaf bir çözelti verir. GOS süt ve diğer süt ürünlerinde çok iyi çözünür ve bir içeceğin viskozitesini etkilemez. GOS şurubunun tadı hafif tatlı ve nötrdür. GOS ürünlerin tadını veya dokusunu etkilemez ve bu nedenle birçok uygulamada ve birçok dozda kolayca kullanılabilir. GOS şurubu düşük pH koşullarında çok kararlıdır. 37 °C'de pH 2'ye kadar birkaç ay kararlıdır ve bu da soğutulmamış meyve suyu matrislerinde uygulanmalarını mümkün kılar. Nötr pH'ta 160 °C'de 10 dakika ve pH 2'de 120 °C'de 10 dakika, pH 3'te 10 dakika işlemten sonra değişmeden kalırlar ve çok çeşitli gıda uygulamaları için potansiyel sunar (Sangwan & ark., 2010).

GOS esas olarak bebek sütü formülü, devam formülü ve bebek mamalarında kullanılır. Takviyeli bebek mamaları genellikle 0,6 ila 0,8 g/L FOS ile birlikte 6,0 ila 7,2 g/L GOS içerir. GOS, kararlılığı nedeniyle bebek mamalarının yanı sıra çok çeşitli diğer gıdalara da dahil edilebilir. Son zamanlarda içeceklerde (meyve suları ve diğer asitli içecekler), öğün ikamelerinde, fermente sütlerde, aromalı sütlerde ve şekerleme ürünlerinde kullanılmaktadırlar. Ekmek ve diğer çoğu fırınlanmış ürünler, GOS ilavesi için uygundur çünkü fermantasyon ve pişirme işlemleri sırasında GOS molekülleri parçalanmaz. Ayrıca GOS yüksek nem tutma kapasitesi nedeniyle ürünün aşırı kurummasını önleyerek ekmeğe daha iyi bir tat ve doku kazandırır (Torres & ark., 2010).

İnülin ve FOS'un, özellikle ikisinin kombinasyonunun, düşük pH ve yüksek sıcaklık koşullarında diğer oligosakkaritlerden daha az kararlı olduğu öne sürülmüştür (Charalampopoulos & Rastall, 2012). Keçi sütünden üretilen taze peynirde yağın uzun zincirli inülin ile ikame edilmesi, ürünün reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği ve bunun sonucunda ürünün basınç dayanımı, sertliği, viskozitesi ve yapışkanlığı gibi değerleri düşürdüğü gözlenmiştir (Salvatore & ark., 2014). Costa & ark. (2019), prebiyotik eklenmesinin yoğurdun reolojik özellikleri ve uçucu bileşiklerinin içeriği üzerindeki etkisini inceledikleri

çalışmada, GOS, polidekstroz ve inülin eklenmesinin işlenmiş üründün kıvamını, elastikiyetini, viskozitesini ve sertliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini saptamışlardır.

Prebiyotikler arasında inülin, gıda endüstrisinde yağ ikamesi veya doku değiştirici olarak yaygın olarak kullanılır. Suda orta düzeyde çözünürlüğü sahiptir (oda sıcaklığında yaklaşık %10 çözünür), bu da sıvı gıda sistemlerine dahil edilmesi için uygun olup, nötr bir tada sahiptir ve hafif tatlıdır (sakaroza kıyasla %10'dan az). Bu özelliklerden dolayı, fermente sütler, yoğurtlar, sütlü tatlılar, peynirler ve dondurma gibi düşük yağlı süt ürünlerinde yağ ikamesi olarak ve fırınlanmış ürünlerde doku değiştirici olarak, genellikle diyet lifleriyle birlikte kullanılır (Charalampopoulos & Rastall, 2012).

Inülin, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus bulgaricus* ve *Bifidobacterium lactis*, *Streptococcus thermophilus*'un saf kültürleriyle veya bunların tümünü içeren bir karışımla fermente edilmiş yağsız süütün kalitesini artırmak için prebiyotik olarak kullanılır. Saf kültürlerle inülin takviyesinin *S. thermophilus* ve *L. acidophilus*'un üretim süresini kısalttığı kanıtlanmıştır (Patel & Goyal, 2012). Prebiyotikler hem besinsel avantajları hem de teknolojik özellikleri için kullanılabilir, ancak genellikle gelişmiş organoleptik kalite ve daha dengeli bir besinsel bileşim için çift fayda sağlamak için uygulanırlar. Prebiyotiklerin gıda uygulamaları Tablo 2'de gösterilmiştir (Wang, 2009).

Tablo 2. Prebiyotiklerin gıda uygulamaları

Uygulamalar	Fonksiyonel özellikler
Yoğurtlar, tatlılar	Şeker ikamesi, doku ve ağız hissi, lif ve prebiyotikler
İçecekler	Şeker ikamesi, ağızda bıraktığı his, köpük stabilizasyonu ve prebiyotikler
Ekmekler, dolgular	Yağ veya şeker ikamesi, doku, lif ve prebiyotikler
Et ürünleri	Yağ ikamesi, doku, stabilite ve lif
Diyetetik ürünler	Yağ veya şeker ikamesi, lif ve prebiyotikler
Kek ve bisküvi	Şeker ikamesi, nem tutma, lif ve prebiyotikler
Çikolata	Şeker ikamesi, ısıl direnç ve lif
Şekerleme	Şeker ikamesi, lif ve prebiyotikler
Çorbalar, soslar	Şeker ikamesi ve prebiyotikler
Bebek maması	Doku, ağız hissi, lif, stabilite ve prebiyotikler

Kaynak: (Wang, 2009)

4. Prebiyotiklerin Sağlık Faydaları

Sağlık alanında yapılan çalışmalar, prebiyotik alımının enfeksiyöz ve antibiyotik ilişkili ishallerin yaygınlığını ve süresini azalttığı; inflamatuvar bağırsak hastalığıyla ilişkili iltihabı ve semptomları azalttığı, kolon kanserini önlemede koruyucu etki gösterdiği, kalsiyum, magnezyum ve muhtemelen demir de dahil olmak üzere minerallerin biyoyararlanımını ve emilimini arttırdığı, kardiyovasküler hastalık için bazı risk faktörlerini azalttığı ve tokluk hissi yaratarak kilo kaybı sağladığı ve obeziteyi önlediğini göstermiştir (Slavin, 2013).

4.1. Gastrointestinal Enfeksiyonlar

Prebiyotiklerin temel amacı, konakçıya sağlık yararı sağlayan gastrointestinal sistemdeki yararlı bakterilerin büyümesini ve aktivitesini uyarmaktır. Antagonizm (antimikrobiyal maddelerin üretimi) ve epitel yapışması ve besinler için rekabet gibi mekanizmalar yoluyla, bağırsak mikrobiyotası patojenler için bir bariyer görevi görür. Karbonhidrat metabolizmasının son ürünleri çoğunlukla SCFA'lardır. Bunlar daha sonra konakçı tarafından bir enerji kaynağı olarak kullanılır. Karbonhidratların fermantasyonu sonucunda, *Bifidobacterium* veya *Lactobacillus*, gastrointestinal patojenlerin gelişimini engelleyen bazı bileşikler üretebilir ve ayrıca bağırsak pH'ında bir azalmaya neden olabilir. Dahası, *Bifidobacterium* cinsi bakteriler üretilen SCFA'lara ve düşük pH'a tolerans gösterir. Bu nedenle, yararlı bağırsak bakterilerinin gelişimi üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı, prebiyotiklerin uygulanması patojenlerin gelişimini inhibe edebilir (Markowiak & Śliżewska, 2017). Prebiyotiklerin gastrointestinal semptomlar üzerine etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Hiel & ark. (2019) yaptıkları çalışmada, sağlıklı gönüllülerde inülin tipi fruktan açısından zengin sebzelerle 2 hafta süren günlük bir diyet programının bağırsak mikrobiyota bileşimi ve aktivitesi, besin alımı, gıdayla ilgili davranış ve gastrointestinal semptomlar üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, inülin tipi fruktan açısından zengin sebzelerle beslenmenin bağırsak mikrobiyotasının kompozisyonu ve fonksiyonunda faydalı değişikliklere yol açtığı görülmüştür.

Russo & ark. (2012) yaptıkları çalışmada, sağlıklı genç gönüllülere inülinle zenginleştirilmiş makarna verilmesinin, zonulin dolaşım seviyelerindeki ve GLP-2 salınımındaki değişikliklere bağlı olarak ince bağırsak geçirgenliğini iyileştirdiğini göstermişlerdir.

59 sağlıklı gönüllünün katıldığı bir çapraz kontrol çalışmasında, iki tip β -GOS (probiyotikten kaynaklanan GOS ile endüstriyel β -galaktozidaz tarafından üretilen GOS'un yeni bir karışımı) 7 g/gün dozda karşılaştırılmış ve çalışma sonunda, farklı β -

galaktozidazlar ile üretilen galaktooligosakkarit karışımlarının farklı prebiyotik özellikler gösterdiğini ve bifidobakteriyel türlerden kaynaklanan enzimler kullanılarak prebiyotik ürünün bifidojenik özelliklerinde artış sağlanabileceğini göstermiştir (Depeint & ark., 2008). Prebiyotikler bağırsakla ilişkili lenfoid dokular (GALT) üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. İnülin, FOS, mannanoligosakkarit ve arabinogalaktanlar, normal bakteri florasının çoğalmasını desteklemek ve patojenik organizmaların büyümesini engellemek için optimum bağırsak fonksiyonu için kullanılan terapötik besin preparatlarıdır. Prebiyotiklerin tüketimi GALT, sekonder lenfoid dokular ve periferik dolaşımdaki bağışıklık parametrelerini modüle edebilir. Nekrotizan enterokolit, prematüre bebeklerde önemli bir morbidite ve mortalite nedenidir. Hayvan çalışmaları ve insan denemelerinden elde edilen *in vivo* deneysel sonuçlar, probiyotiklerin nekrotizan enterokolit insidansını azalttığını göstermektedir (Patel & Goyal, 2012).

4.2. Kalsiyum emilimi

Prebiyotiklerin kalsiyum metabolizması ve kemik sağlığı üzerindeki etkilerine dair artan kanıtlar bulunmaktadır. Bu etkilerin kalın bağırsaktaki prebiyotik-mikroorganizma etkileşimleri yoluyla meydana geldiği düşünülmektedir. Geliştirilmiş mineral emilimi ve iskelet sağlığı için mevcut prebiyotik mekanizmalar arasında bağırsak mikrobiyotası bileşiminde değişiklikler, kısa zincirli yağ asitleri üretimi, değiştirilmiş bağırsak pH'ı, biyobelirteç modifikasyonu ve bağışıklık sistemi düzenlemesi yer alır (Whisner & Castillo, 2018).

Prebiyotikler arasında oligosakkaritler, FOS ve inülin, mineral emilimini ve kemik mineralizasyonunu artırma yetenekleri nedeniyle en çok incelenenlerdir. Prebiyotikler ayrıca SCFA ile uyarılan enterosit çoğalması yoluyla bağırsak fonksiyonunu etkileyerek emici yüzey alanının artmasına ve kalsiyum bağlayıcı proteinlerin ve büyüme faktörlerinin ekspresyonunun düzenlenmesine yol açabilmektedir (Legette & ark., 2012).

Osteoporoz, ciddi epidemiyolojik öneme sahip baskın osteopatilerden biridir. Risk faktörlerinden biri yetersiz kalsiyum

alımıdır. Minerallerin emilimini azaltan diyet bileşiklerinin aşırı alımından kaçınılmalıdır. Mineral emilimini ve kemik mineralizasyonunu uyaran bileşenler kemik sağlığını destekleyebilir. Birçok araştırmacı tarafından oligofruktoz ve inülin veya laktuloz gibi sindirilemeyen oligosakkaritlerin (NDO'lar) mineral emilimini etkili bir şekilde uyardığı gösterilmiştir (Scholz-Ahrens & ark., 2001). Mevcut verilerden elde edilen bulgular, prebiyotiklerin hücrel kalsiyum alımını desteklediğini göstermektedir.

Wastney & ark. (2004), postmenopozal kadınları taklit etmek için yumurtalıkları alınmış bir sıçan modeli kullanarak NDO'nun kalsiyum metabolizması üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, menopozlu kadınları taklit eden bir sıçan modelinde NDO'nun kemik üzerindeki koruyucu etkisini saptamışlardır. Bu etki artan kalsiyum emilimi, artan kalsiyum dengesi, artan kemik mineralizasyonu ve azalan kemik erimesi yoluyla belirlenmiştir.

Van den Heuvel, Schoterman & Muijs (2020) transgalaktooligosakkaritlerden zengin bir ürün (Elix'or; 20 g/gün TOS) tüketiminin postmenopozal kadınlarda kalsiyum emilimini ortalama %16 oranında artırdığını bildirmiştir. Weaver & ark. (2010) yaptıkları çalışmada, sütten kesilmiş bir sıçan modelinde SCFA, kalsiyum emilimi, mineral tutulumu ve kemik içeriği ile kemik yoğunluğu ve gücü üretimi için 12 haftalık bir müdahalenin ardından sekiz lifi selülozla karşılaştırmışlardır. Kemiklere sağlanan faydalar, SCFA üretimi, kalsiyum emilimi veya mineral tutulumu ile zayıf veya orta düzeyde ilişkili bulunmuştur.

4.3. Kolorektal Kanser

Dünyada en sık görülen üçüncü kanser türü olan kolorektal kanser (CRC), çevresel ve yaşam tarzı faktörleri nedeniyle son zamanlarda gelişmekte olan ülkelerde artış göstermektedir. Bu faktörlerin çoğu, fiziksel aktivite eksikliği, kötü beslenme, sirkadiyen ritim bozulması ve alkol tüketimindeki artışla ilişkilendirilmektedir. Bu faktörler, kolon ortamını ve bağırsak mikrobiyota bileşimini değiştirerek, bağırsak disbiyozu olarak adlandırılan bir durumla CRC riskini artırabilmektedir. Bağırsak

mikrobiyal homeostazını korumaya ve disbiyozu hafifletmeye yardımcı olabilen besinler olan prebiyotikler, inflamasyonu ve CRC'yi önlemede faydalı olabilmektedir. Bu besinler, SCFA üretiminde, anti-inflamatuar bağışıklıkta, bağırsak epitel bariyerinin korunmasında, pro-apoptotik mekanizmalarda ve diğer hücrel mekanizmalarda yer alan yararlı bakterilerin büyümesini teşvik ederek disbiyozun etkilerini engellemektedir (Mahdavi, Laforest-Lapointe & Massé, 2021).

Dünya çapında en sık görülen üçüncü malignite olarak derecelendirilen kolorektal kanser, genetik mutasyondan adenomatöz poliplere kadar çok aşamalı bir hastalıktır ve daha sonra invaziv ve metastatik kansere yol açabilir (Davani & ark., 2019).

Prebiyotiklerin, bağırsaktaki yararlı bakteri popülasyonlarının büyümesini ve aktivitesini uyararak CRC ile ilişkili biyobelirteçleri iyileştirdiği gösterilmiştir. Bu bakteri popülasyonları, bu prebiyotik liflerle beslendiğinde asetat, propiyonat, bütirat, izobütirat ve valerat gibi çeşitli kısa zincirli yağ asitleri üretir. Bu kısa zincirli yağ asitlerinin bazıları, histon deasetilazları inhibe ederek, çeşitli hücre döngüsü anahtar modülatörlerinin ifadesinde değişikliklere neden olarak ve tümör kolon hücrelerinde apoptozu indükleyerek antitümör özellikler gösterir (Fernández & ark., 2018). Kısa zincirli yağ asitlerinden bütiratın laktobasil ve bifidobakterilerin fermentasyonundan elde edilen yaygın bir son ürün olmadığı göz önüne alındığında, üretiminin diğer bağırsak florasının fermentasyonundan kaynaklanacağı düşünülebilir. Prebiyotiklerin türüne bağlı olarak kolonda değişen konsantrasyonlarda bütiratın üretildiği saptanmıştır. Bütirat üretimi toplam SCFA'nın yaklaşık %5'i olmasına rağmen, butirat özellikle dikkat çekicidir, çünkü bütiratın kolorektal tümör hücreleri de dahil olmak üzere fenotip farklılaşmasını indüklediği bulunmuştur. Kolonik hücre çoğalmasının azaltılması ve kolonik epitel hücrelerinde farklılaşmanın indüklenmesi, ülseratif kolit tedavisinde bütiratın klinik denemelerinin artmasına yol açmıştır. Ek olarak, sodyum bütiratın güçlü bir büyüme inhibitörü ve fenotip farklılaşması ve apoptozun indükleyicisi olduğu ortaya konmuştur ve kolon kanseri

ve adenom gelişiminin etiolojisiinde yer alan risk faktörlerinin azaltılmasında yararlı etkiler gösterdiği düşünülmektedir (Liong, 2008).

Xie & ark. (2019), kolorektal kanserli perioperatif hastalarda prebiyotiklerin (fruktooligosakkaritler, ksilooligosakkaritler, polidekstroz ve dirençli dekstrin içeren) alımının bağışıklık fonksiyonu ve bağırsak mikrobiyota yapısı üzerine etkilerini araştırmışlardır. 140 perioperatif hastayı (90 erkek ve 50 kadın, 40-75 yaş) içeren, kolorektal kanserli, randomize, çift kör, paralel kontrollü klinik çalışma gerçekleştirilmiştir. Hastalar rastgele iki gruba ayrılmıştır (7 gün boyunca günde 30 g prebiyotik takviyesi alan bir müdahale grubu (prebiyotik grubu, $n = 70$) ve hiçbir prebiyotik takviyesi almayan bir kontrol grubu (prebiyotik olmayan grup, $n = 70$)). Her iki grup için de operasyon öncesi ve sonrasında beslenme ve immünolojik indeksler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, prebiyotikler, kolorektal kanserli hastalarda fırsatçı patojenler içeren dört komensal mikrobiyotayı iyileştirmiştir. Fernández & ark. (2018) yaptıkları çalışmada, GOS-Lu (laktulozdan türetilen galakto-oligosakkaritler) prebiyotik preparatının bu kansere karşı kemopreventif etkisini test etmek için bir hayvan modeli (*Rattus norvegicus* F344) kullanmışlardır. Bu modelde, hayvanlara iki doz azoksimetan (10 mg/kg) ve iki doz dekstran sodyum sülfat (DSS) uygulanmıştır. Hayvanlar 20 hafta boyunca beslenmiş ve onlara kontrol içme suyu veya %10 (a/a) GOS-Lu prebiyotik preparatı içeren içme suyu verilmiştir. Sonuçlar, GOS-Lu kohortunda kontrol hayvanlarına göre kolon tümörlerinin sayısında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Kolon mikrobiyota popülasyonlarını incelemek için metagenomik dizileme kullanılmış ve proinflatuar bakteri aileleri ve türlerinin popülasyonlarında anlamlı azalmalar ve *Bifidobacterium* gibi faydalı popülasyonlarda anlamlı artışlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, prebiyotik GOS-Lu preparatının oral yoldan uygulanmasının, CRC'yi önlemek için etkili bir strateji olabileceği bildirilmiştir.

4.4. İmmün Sistem

Gastrointestinal sistem, gıda ve mikroorganizmalardan gelen yabancı antijenik uyarılara maruz kalmaktadır. Bu sistem, diyet, dış patojenler ve lokal immünolojik ve immünolojik olmayan süreçler arasındaki karmaşık etkileşimleri entegre etmelidir. Potansiyel patojenlere karşı koruyucu bağışıklık tepkilerinin verilmesi ve diyet antijenlerine karşı aşırı duyarlılık reaksiyonlarının en aza indirilmesi kritik öneme sahiptir. Fermente edilebilir diyet liflerinin ve yeni tanımlanan prebiyotiklerin, bağırsakla ilişkili lenfoid dokular (GALT) dahil olmak üzere bağışıklık sisteminin çeşitli özelliklerini modüle edebileceğine dair artan kanıtlar bulunmaktadır. Prebiyotik liflerin tüketimiyle oluşan bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler, potansiyel olarak; laktik asit bakterilerinin veya bakteri ürünlerinin (hücre duvarı veya sitoplazmik bileşenler) bağırsaktaki bağışıklık hücreleriyle doğrudan teması; lif fermantasyonundan kısa zincirli yağ asitlerinin üretimi veya mukus üretimindeki değişiklikler gibi yollarla bağışıklık değişikliklerine aracılık edebilir (Schley & Field, 2002).

Prebiyotikler, belirli bağırsak bozukluklarında insan sağlığını iyileştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Prebiyotiklerin GALT üzerindeki insan sağlığının iyileştirilmesine yönelik etkisine ilişkin bilgiler artmaktadır. İnülin, fruktooligosakkaritler, mannan oligosakkaritler ve arabinogalaktanları içeren prebiyotikler, normal bakteri florasının büyümesini destekleyen ve patojenik organizmaların büyümesini engelleyen bağırsak fonksiyonu için kullanılan terapötik bir besin preparatıdır. Prebiyotik tüketiminin GALT, sekonder lenfoid dokular ve periferik dolaşımdaki bağışıklık parametrelerini düzenleyebileceğini öne süren önemli veriler mevcuttur (Bodera, 2008).

Bağırsak mikrobiyotasının konakçının bağışıklık sistemindeki önemli rolü göz önüne alındığında, prebiyotikle tedavi edilen konakçılarda bağışıklık fonksiyonunun artmasının esas olarak bağırsaktaki yararlı bakteri ve ürünlerinin popülasyonunun artmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Bu, prebiyotiklerin

bağışıklık sistemi üzerindeki dolaylı etkileri olarak kabul edilir. Ancak, prebiyotiklerin bağışıklık fonksiyonu üzerindeki etkileri doğrudan, dolaylı veya her ikisi şeklinde de olabilir. Dolaylı etkiler söz konusu olduğunda, birçok çalışma prebiyotiklerin, hem hayvan modelleri hem de insan çalışmalarında, bifidobakteriler ve laktobasiller gibi yararlı ve koruyucu bakteri popülasyonunu artırırken, hastalığa neden olan veya patojenik bakterileri azaltma yönünde bağırsak mikrobiyal popülasyonunun dengesini değiştirebildiğini göstermiştir (Shokryazdan & ark., 2017). Prebiyotiklerin bağışıklık sistemi üzerindeki etkisini gösteren çeşitli çalışmalar mevcuttur. 65 yaş ve üzeri toplam 66 kişi üzerinde yapılan bir çalışmada, 183 gün boyunca FOS içeren bir formülden günde 8 oz verilmiştir. Çalışma sonunda, viral aşılara karşı antikor tepkileri iyileşmiş ve grip nedeniyle hastaneye yatış ve grip aşılarının yan etkileri azalmıştır (Langkamp-Henken & ark., 2004).

Sağlıklı yaşlı bireylerde prebiyotik GOS karışımının (B-GOS) bağışıklık fonksiyonu ve dışkı mikroflorası kompozisyonu üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada fagositoz, NK hücre aktivitesi ve IL-10 (bir anti-inflamatuar sitokin) seviyesi artmış, IL-6, IL-1 β ve tümör nekroz faktörü- α gibi pro-inflamatuar sitokinlerin seviyeleri azalmıştır (Vulevic & ark., 2008).

Prebiyotik liflerin, bağırsak yolunda kısa zincirli yağ asitlerini ve diğer birkaç metaboliti üreten probiyotik komensal bakteriler için substrat görevi gördüğü geleneksel olarak bilinmektedir. Daha sonra, öncelikle G-protein-bağılantılı reseptör aracılı yollarla, lokal ve sistemik bağışıklık hücreleri ve bağırsakla ilişkili epitel hücreleri üzerinde etki gösterirler. Bununla birlikte, histon deasetilaz inhibisyonu ve inflamazom yolu da dahil olmak üzere diğer yollar da immünomodülatör etkiyi düzenlemede rol oynamaktadır. Prebiyotikler ayrıca, Toll benzeri reseptörler aracılığıyla bağırsakla ilişkili epitel ve doğuştan gelen bağışıklık hücreleri üzerinde doğrudan etki ederek mikrobiyotadan bağımsız bir etki de indükleyebilirler. Kümülatif etki, epitel bariyer bütünlüğünün korunması ve pro- ve anti-inflamatuar sitokinlerin salgılanması, makrofaj polarizasyonu ve fonksiyonundaki değişiklikler, nötrofil aktivasyonu, dendritik hücre ve düzenleyici T

hücreleri farklılaşması yoluyla doğuştan gelen bağışıklığın modülasyonu ile sonuçlanır (Pujari & Banerjee, 2021).

4.5. Obezite

Obezite, çok faktörlü patogenezi nedeniyle tedavi edilmesi gereken küresel bir pandemi kompleksidir. Sağlıksız bir yaşam tarzı, nöronal ve hormonal mekanizmalar, genetik ve epigenetik faktörler obezite riskini artırır. Bilimsel kanıtlar, obezite ve metabolik sonuçlarının, enerji metabolizmasını düzenlemede önemli bir rol oynayan bağırsak mikrobiyotasının hem işlevi hem de bileşimindeki değişikliklerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğu fikrini desteklemektedir. Bağırsak mikrobiyotası bileşimindeki değişiklikler, vücut ağırlığındaki ve vücut kitle indeksiindeki değişikliklerle ilişkilendirilmiştir. Yaşam tarzı değişiklikleri, obezite ve ilgili metabolik bozukluklar için birincil tedavi olarak kalmaya devam etmektedir. Obez olmayan sağlıklı kişilerde bulunanları taklit etmek için bağırsak mikrobiyotasının pre- ve/veya probiyotik modülasyonuna dayalı olarak obeziteyi tedavi etmek/önlemek için yeni terapötik stratejiler önerilmiştir (Cerdó & ark., 2019).

Belirli bir lif türü olan prebiyotiklerin kullanılarak diyet lifi alımının artırılması, tokluk hormonlarını uyararak ve iştah kontrolünün iyileştirilerek vücut ağırlığının yönetilmesine yardımcı olabilmektedir. Prebiyotiklerin sağlık yararları çoğunlukla bağırsaktaki sağlığı geliştirici bakterilerin büyümesini ve aktivitesini uyarma yeteneklerine ve aynı anda iştahı ve yemek sonrası glikoz ve insülin konsantrasyonlarını iyileştirmelerine atfedilir. Prebiyotiklerin aşırı kilolu ve obez yetişkinlerde gıda alımını azalttığı ve vücut yağını azalttığı gösterilmiştir (Hume & ark., 2017).

Prebiyotik özelliklere sahip besinler, bağırsak mikrobiyotasını değiştirerek bağırsağın endokrin fonksiyonunu desteklemeye (GLP-1 ve GLP-2 üreten hücrelerde artış) ve bağırsakta ve yağ dokusunda endokannabinoid sisteminin aktivasyonunu düzenlemeye olanak tanır. Tüm bu etkiler bağırsak geçirgenliğini azaltmaya (sıkı bağlantı proteinleri ZO-1 ve Okludin'in dağılımının iyileştirilmesi) katkıda bulunur, böylece endotoksemi ve sistemik inflamasyonu azaltır. GLP-1'deki

değişiklikler gıda alımını, yağ kütlesini, glisemi ve insülin direncini azaltmaya katkıda bulunur (Delzenne, Neyrinck, & Cani, 2011).

Diyetten elde edilen prebiyotik lifler, Bifidobacterium ve Lactobacillus gibi bilinen komensal bakteri suşlarının büyümesini öncelikli olarak destekler. Dahası, prebiyotikler bağırsak pH'ını düzenleyerek, büyümesi asidik bir ortam tarafından zayıflatılan *Clostridium perfringens* ve *Escherichia coli* gibi olası enteropatojenler için bakterisidal bir ortam yaratır. Bu nedenle, doğal kaynaklı prebiyotik takviyelerinin yanı sıra daha fazla lifli gıdanın tüketilmesi, konak sağlığı üzerinde faydalı sistemik etkiler elde etmek amacıyla bağırsak mikrobiyal bileşimini ve metabolizmasını düzenlemek için önemli bir yoldur. Çok sayıda deneysel çalışma, çeşitli etki mekanizmaları aracılığıyla obezite ve metabolik anormalliklerle mücadelede prebiyotiklerin faydalarını göstermiştir. Diğerlerinin yanı sıra, prebiyotik bazlı tedavinin obeziteyle ilişkili sistemik inflamasyonu azalttığına dair artan kanıtlar bulunmaktadır (Green, Arora & Prakash, 2020).

5. Sonuç

Prebiyotikler, insanlarda sindirim enzimleri tarafından sindirilemeyen ve seçici olarak bazı yararlı bakteri gruplarının aktivitesini artıran gıda bileşenleridir. Bu bileşenler bağırsakta, kısa zincirli yağ asitleri üretmek için yararlı bakteriler tarafından fermente edilir. Prebiyotikler kolorektal kanser riskini azaltma, kalsiyum ve magnezyum emilimini artırma, akut gastroenterit, osteoporoz ve hiperlipidemi risklerini azaltma gibi sağlık üzerinde bir dizi faydalı etkiye sahiptir. Çok sayıda sebze ve meyvede bulunan prebiyotikler, önemli teknolojik avantajlar sunan işlevsel gıda bileşenleri olarak kabul edilir. Bu bileşenlerin kullanımı, gıdanın besinsel, fiziksel-kimyasal ve duyuşsal özelliklerini iyileştirebilir. Prebiyotik bileşikler, yüksek besinsel ve terapötik özelliklere sahip fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi için farklı gıda ürünlerinin güçlendirilmesinde kullanılabilir. Bununla birlikte, prebiyotiklerin insanlarda sağlık yararlarını doğrulamak için uzun vadeli klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. A. (2013). Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of functional foods*, 5(4), 1542-1553.

Bavaro, A. R., Di Biase, M., Linsalata, V., D'Antuono, I., Di Stefano, V., Lonigro, S. L., ... & Cardinali, A. (2024). Potential Prebiotic Effect of Inulin-Enriched Pasta after In Vitro Gastrointestinal Digestion and Simulated Gut Fermentation. *Foods*, 13(12), 1815.

Bhanja, A., Sutar, P. P., & Mishra, M. (2022). Inulin-A polysaccharide: Review on its functional and prebiotic efficacy. *Journal of Food Biochemistry*, 46(12), e14386.

Bodera, P. (2008). Influence of prebiotics on the human immune system (GALT). Recent patents on inflammation & allergy drug discovery, 2(2), 149-153.

Cerdó, T., García-Santos, J. A., G. Bermúdez, M., & Campoy, C. (2019). The role of probiotics and prebiotics in the prevention and treatment of obesity. *Nutrients*, 11(3), 635.

Charalampopoulos, D., & Rastall, R. A. (2012). Prebiotics in foods. Current opinion in biotechnology, 23(2), 187-191.

Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimaraes, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., ... & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *Lwt*, 105, 371-376.

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., ... & Ghasemi, Y. (2019).

Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92.

Delzenne, N. M., Neyrinck, A. M., & Cani, P. D. (2011). Modulation of the gut microbiota by nutrients with prebiotic properties: consequences for host health in the context of obesity and metabolic syndrome. *Microbial cell factories*, 10, 1-11.

de Paulo Farias, D., de Araújo, F. F., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2019). Prebiotics: Trends in food, health and technological applications. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 23-35.

Depeint, F., Tzortzis, G., Vulevic, J., Ianson, K., & Gibson, G. R. (2008). Prebiotic evaluation of a novel galactooligosaccharide mixture produced by the enzymatic activity of *Bifidobacterium bifidum* NCIMB 41171, in healthy humans: a randomized, double-blind, crossover, placebo-controlled intervention study. *The American journal of clinical nutrition*, 87(3), 785-791.

e Souza, A. F. C., Gabardo, S., & Coelho, R. D. J. S. (2022). Galactooligosaccharides: Physiological benefits, production strategies, and industrial application. *Journal of Biotechnology*, 359, 116-129.

Fernández, J., Moreno, F. J., Olano, A., Clemente, A., Villar, C. J., & Lombó, F. (2018). A galacto-oligosaccharides preparation derived from lactulose protects against colorectal cancer development in an animal model. *Frontiers in microbiology*, 9, 2004.

González-Herrera, S. M., Herrera, R. R., López, M. G., Rutiaga, O. M., Aguilar, C. N., Esquivel, J. C. C., & Martínez, L. A.

O. (2015). Inulin in food products: prebiotic and functional ingredient. *British Food Journal*, 117(1), 371-387.

Green, M., Arora, K., & Prakash, S. (2020). Microbial medicine: prebiotic and probiotic functional foods to target obesity and metabolic syndrome. *International journal of molecular sciences*, 21(8), 2890.

Hiel, S., Bindels, L. B., Pachikian, B. D., Kalala, G., Broers, V., Zamariola, G., ... & Delzenne, N. M. (2019). Effects of a diet based on inulin-rich vegetables on gut health and nutritional behavior in healthy humans. *The American journal of clinical nutrition*, 109(6), 1683-1695.

Hume, M. P., Nicolucci, A. C., & Reimer, R. A. (2017). Prebiotic supplementation improves appetite control in children with overweight and obesity: a randomized controlled trial. *The American journal of clinical nutrition*, 105(4), 790-799.

Lamsal, B. P. (2012). Production, health aspects and potential food uses of dairy prebiotic galactooligosaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(10), 2020-2028.

Langkamp-Henken, B., Bender, B. S., Gardner, E. M., Herrlinger-Garcia, K. A., Kelley, M. J., Murasko, D. M., ... & Wood, S. M. (2004). Clinical Investigations Nutritional Formula Enhanced Immune Function and Reduced Days of Symptoms of Upper Respiratory Tract Infection in Seniors. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(1).

Legette, L. L., Lee, W., Martin, B. R., Story, J. A., Campbell, J. K., & Weaver, C. M. (2012). Prebiotics enhance magnesium absorption and inulin-based fibers exert chronic effects on calcium

utilization in a postmenopausal rodent model. *Journal of food science*, 77(4), 88-94.

Liong, M. T. (2008). Roles of probiotics and prebiotics in colon cancer prevention: postulated mechanisms and in-vivo evidence. *International journal of molecular sciences*, 9(5), 854-863.

Louis, P., Flint, H. J., & Michel, C. (2016). How to manipulate the microbiota: prebiotics. *Microbiota of the human body: Implications in health and disease*, 119-142.

Mahdavi, M., Laforest-Lapointe, I., & Massé, E. (2021). Preventing colorectal cancer through prebiotics. *Microorganisms*, 9(6), 1325.

Manning, T. S., & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. *Best practice & research clinical gastroenterology*, 18(2), 287-298.

Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021.

Mei, Z., Yuan, J., & Li, D. (2022). Biological activity of galacto-oligosaccharides: A review. *Frontiers in Microbiology*, 13, 993052.

Obayomi, O. V., Olaniran, A. F., & Owa, S. O. (2024). Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. *Journal of Functional Foods*, 119, 106337.

Pandey, K. R., Naik, S. R., & Vakil, B. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics-a review. *Journal of food science and technology*, 52, 7577-7587.

Panesar, P. S., Bali, V., Kumari, S., Babbar, N., & Oberoi, H. S. (2014). Prebiotics. Biotransformation of waste biomass into high value biochemicals, 237-259.

Patel, S., & Goyal, A. (2012). The current trends and future perspectives of prebiotics research: a review. 3 Biotech, 2, 115-125.

Pujari, R., & Banerjee, G. (2021). Impact of prebiotics on immune response: from the bench to the clinic. Immunology and Cell Biology, 99(3), 255-273.

Russo, F., Linsalata, M., Clemente, C., Chiloiro, M., Orlando, A., Marconi, E., ... & Riezzo, G. (2012). Inulin-enriched pasta improves intestinal permeability and modifies the circulating levels of zonulin and glucagon-like peptide 2 in healthy young volunteers. Nutrition Research, 32(12), 940-946.

Sabater-Molina, M., Larqué, E., Torrella, F., & Zamora, S. (2009). Dietary fructooligosaccharides and potential benefits on health. Journal of physiology and biochemistry, 65, 315-328.

Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., & Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. International Dairy Journal, 34(1), 1-5.

Sangwan, V., Tomar, S. K., Singh, R. R. B., Singh, A. K., & Ali, B. (2011). Galactooligosaccharides: novel components of designer foods. Journal of food science, 76(4), R103-R111.

Schley, P. D., & Field, C. J. (2002). The immune-enhancing effects of dietary fibres and prebiotics. British Journal of Nutrition, 87(S2), S221-S230.

Scholz-Ahrens, K. E., Schaafsma, G., van den Heuvel, E. G., & Schrezenmeir, J. (2001). Effects of prebiotics on mineral metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, 73(2), 459s-464s.

Shokryazdan, P., Faseleh Jahromi, M., Navidshad, B., & Liang, J. B. (2017). Effects of prebiotics on immune system and cytokine expression. *Medical microbiology and immunology*, 206, 1-9.

Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435.

Teferra, T. F. (2021). Possible actions of inulin as prebiotic polysaccharide: A review. *Food Frontiers*, 2(4), 407-416.

Thammarutwasik, P., Hongpattarakere, T., Chantachum, S., Kijroongrojana, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., ... & Ooraikul, B. (2009). Prebiotics-A Review. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 31(4).

Torres, D. P., Gonçalves, M. D. P. F., Teixeira, J. A., & Rodrigues, L. R. (2010). Galacto-oligosaccharides: production, properties, applications, and significance as prebiotics. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(5), 438-454.

Van den Heuvel E., Schoterman M., & Muijs T (2000) Trans-galactooligosaccharides stimulate calcium absorption in postmenopausal women. *J Nutr* 130:2938–2942

Vulevic, J., Drakoularakou, A., Yaqoob, P., Tzortzis, G., & Gibson, G. R. (2008). Modulation of the fecal microflora profile and immune function by a novel trans-galactooligosaccharide mixture

(B-GOS) in healthy elderly volunteers. *The American journal of clinical nutrition*, 88(5), 1438-1446.

Wang, Y. (2009). Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International*, 42(1), 8-12.

Wastney, M. E., Zafar, T. A., Weaver, C. M., Zhao, Y., & Martin, B. R. (2004). Nondigestible oligosaccharides increase calcium absorption and suppress bone resorption in ovariectomized rats. *The Journal of nutrition*, 134(2), 399-402.

Weaver, C. M., Martin, B. R., Story, J. A., Hutchinson, I., & Sanders, L. (2010). Novel fibers increase bone calcium content and strength beyond efficiency of large intestine fermentation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(16), 8952-8957.

Whisner, C. M., & Castillo, L. F. (2018). Prebiotics, bone and mineral metabolism. *Calcified tissue international*, 102, 443-479.

Xie, X., He, Y., Li, H., Yu, D., Na, L., Sun, T., ... & Xu, G. (2019). Effects of prebiotics on immunologic indicators and intestinal microbiota structure in perioperative colorectal cancer patients. *Nutrition*, 61, 132-142.

BÖLÜM II

Keçi Sütü İle Koyun Sütünün Gaz Ve Sıvı Kromatografik Analizlerinin Karşılaştırılması

Gülcan GÖLBASI¹
Ozcan Baris ÇİTİL²

1. Giriş ve Genel Bilgiler

Bu çalışmada, Türkiye’de yetiştirilen keçi ve koyunlardan elde edilen sütlerin, yüzde kimyasal bileşimi, somatik hücre sayıları, yağ asitleri kompozisyonları ile konjuge linoleik asit ve punisik asit miktarları belirlenmiştir. 10 farklı keçi ve koyun sütünden 3’ er tekerrür halinde alınan numunelerin analizleri yapılarak elde edilen bulgular, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Aflatoksin M1 analizleri Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Keçi sütlerinin somatik hücre sayılarının (603 ± 008), koyun sütlerinin somatik hücre sayılarından (365 ± 008) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Koyun sütlerinin yüzde kimyasal bileşenlerinin içeriği, keçi sütlerindekiinden

¹ Araştırmacı., Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye, Orcid: 0000-0002-2607-3318, gulcangolbasi95@gmail.com

² Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar Meslek Yüksekokulu Fakültesi, Veterinerlik Bölümü, Konya/Türkiye, Orcid: 0000-0003-1999-5805, ozcancitil@gmail.com

çok daha yüksektir. Sütlerin yağ asitleri kompozisyonları, konjuge linoleik asit ve punisik asit miktarları benzer özellik göstermesine rağmen içeriklerinde farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu süt numunelerinde genel olarak C 16:0, palmitik asit, majör yağ asidi olduğu gözlenmiştir. Diğer en yüksek yüzdeye sahip yağ asitleri de C 18:1, oleik asit ve C 18:0, stearik asit, olarak belirlenmiştir. Toplam CLA keçi sütünde 0.244%, koyun sütünde 0.2653% olarak belirlenmiştir. Punisik asit ise keçi sütünde 0.012%, koyun sütünde 0.015% olarak belirlenmiştir. Çiğ süt örneklerinin yalnızca %11,4'ünün Avrupa Birliği yasal sınırını (50 ng/L) aştığı saptanmıştır. Keçi sütünün (23,9±17,77ng/L) ortalama AFM1 düzeyinde koyun (14,0±17,33ng/L) sütüne göre daha yüksektir. Ancak herşeye rağmen çiğ sütlerde AFM1 konsantrasyonlarının Avrupa Komisyonu ve Türk Gıda Kodeksi limitlerine (<50ng/L) uygun olduğu tespit edilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Yem Materyali

Türkiye’de faaliyet gösteren süt ve süt mamulleri üretimi yapan işletmelerin çok az kesiminde, keçi sütü ve koyun sütü kullanılmaktadır. Bu nedenle araştırmada hammadde olarak koyun sütü ve keçi sütü kullanılmıştır. Kullanılacak sütlerin olabildiğince taze, uygun asitlikte olan ve aynı özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Çalışmada Konya’nın Çumra ilçesinin 10 farklı bölgesinden elde edilen sabah ve akşam sağımından toplanan keçi sütü ile koyun sütleri kullanılmıştır. Üç parti şeklinde alınan sütler süzildükten sonra temiz süt, 1000 ml numune kaplarına alınıp, buz kasetleri yardımıyla soğukta muhafazası sağlanıp, soğuk zincir kırılmadan (4±1°C’de) analizlerinin yapılacağı Karapınar Aydoğanlar MYO’nun gıda laboratuara nakledilmiştir. Numune örnekleri analizleri yapılcaya kadar +4 °C’de bekletilmiştir. Her bir numune için en az 1000 ml çiğ süt temin edilmiştir.

2.2. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Dietil eter (Merck) ve Metanol CH₃OH (Merck), Etanol C₂H₅OH, Na₂SO₄ Kloroform, Sülfirik Asit, Aseton, KOH, BF₃-Metanol kompleksi, amil alkol, Metilen, Aflatoksin tayini için, aflatoksin M1

standart solusyonu, ultra saf su (HPLC grade water), metanol, asetonitril, %5 sodyumhipoklorid ve %5 aseton maddeleri kullanılmıştır.

2.3. Kullanılan Cam Malzemeler

Geri soğutucu, 45 cm, düz; yağ balonu, 250 ml, dibi düz ve 29*32 şilifli; ayırma hunisi, (100 ml.' lik) olmalıdır. Ayrıca, beher, pipet, erlen, süt bütürometresi, piset ekstraktör ve milivial kullanılmıştır.

2.4. Kullanılan Cihazlar

Gaz kromaografi (GC), Soxhlet cihazı, derin dondurucu, vorteks, etüv, Kjeldal destilasyon cihazı, kül fırını, somatik hücre sayımı cihazı, hassas terazi, gerber santrifüjü, mikroskop, Sıvı Kromatografisi (HPLC)

2.5. Metod

Toplam kuru madde: Sütlerde kuru madde Gravimetrik yöntemle belirlenmiştir (Anonymous 1981).

Yağ: Sütlerde yağ miktarı, Funke Gerber butirometresi kullanılarak Gerber yöntemiyle saptanmıştır (Anonymous 1981).

Protein: Analiz edilen çiğ süt örneklerinde mikro Kjeldahl yöntemi ile toplam azot miktarı tespit edilmiş ve elde edilen değer 6.38 faktörü ile çarpılarak hesaplanmıştır (Oysun, 2001).

Kül: Kül içeriği, Gravimetrik yöntemle belirlenmiştir (Anonymous 1981).

Laktoz: Laktoz miktarı, polarimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Oysun, 2001).

Yağsız kurumadde içeriği (YKM): Polarimetre kullanılarak, desaplanmıştır (Oysun, 2001).

Somatik hücre sayımı: Çalışmada, somatik hücre sayımı için direk sayım yöntemi kullanılmıştır. Breed Sayım Yöntemi, lam üzerindeki 5x20 mm² boyutundaki iki alana (şerit) sütü yaydıktan sonra etüvde

37°C’de sabitlenen sütün üzerine, metilen mavisi içeren boya çözeltisinin damlatılması ile çekirdeği belirgin bir şekilde boyanabilen lökositler ve epitel hücreler gibi somatik hücrelerin sayımı esasına dayanmaktadır. Görüş sahası alanı göz önünde tutularak somatik hücre sayıları tespit edilmiştir (Gürgün ve Halkman, 1990).

Yağ asitleri: Süt numunelerinin toplanıp yağ asitleri kompozisyonları ile konjuge linoleik asit ve punisik asit miktarını belirlemek için tek aşamalı ekstraksiyon uygulanmıştır. Süt örneklerinin ekstraksiyonu Erickson ve Dunkley (1964)’e göre n-hexan kullanılarak yapılmıştır. Yağ asitlerinin gaz kromatografik analizleri için metil esterleri AOCS (1997)’ye göre hazırlanmıştır.

Aflatoksin Analizleri; AFM1 düzeylerini saptamak amacı ile; çoğunlukla immünokimyasal yöntemler kullanılmakta olup, bunlar arasında Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC - high performance liquid chromatography) (Mwanza, ve ark. 2015)

2.9. İstatistik Analizlerinin Yapılması ve Yorumlanması

Numuneye ait elde edilen sonuçların, öncelikle ortalama değerleri alınmış, elde edilen yedi farklı numunenin aritmetik ortalaması hesap edilmiştir. Bu ortalama değerlerin ayrı ayrı standart sapmaları ve standart hataları bulunmuştur. Numuneler arasındaki maksimum ve minimum değerler belirlenmiştir (DUZGUNES, 1987).

3. BULGULAR

Sütün insan beslenmesindeki öneminden dolayı, üretimi ve ürünlere işlenmesi tarımsal üretim içinde önem arz etmektedir. 2012 yılı Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) kayıtlarına göre kayıtlarına göre; dünyada toplam süt üretiminin yaklaşık %83’ünü inek sütü oluştururken, % 2,4’ünü keçi sütü ve %1.3’ünü koyun sütü oluşturmaktadır. Yine ülkemize ait 2013 yılına istatistikî verilere göre; yılda 16.665 bin ton inek sütü elde edilirken, 1.101 bin ton koyun sütü ve 415 bin ton keçi sütü üretimi elde edilmektedir (TÜİK,

2014). Bu verileri değerlendirdiğimizde ülkemizdeki koyun ve keçi sütünün toplam üretim miktarlarının, inek sütüne kıyasla çok daha düşük olduğu dikkati çekmektedir. Oysa gelişmiş lkelerde keçi ve koyun sütünün sahip olduğu fonksiyonel özelliklerden dolayı (rneğin süt yağı gibi) koyun ve keçi sütü üretimi hızla artış göstermektedir. Buna rağmen, son yıllarda keçi ve koyun yetiştiriciliği sektörü büyük bir gelişme göstermektedir. Ahırların ve besleme tesislerinin artması ise, süt üretiminin artışına sebep olmuştur. Artan süt üretimi ile birlikte insanlar, sağlık açısından diğer protein kaynakları yerine süt tüketimini tercih etmeye başlamışlardır. Koyun ve keçi yetiştiriciliği bugün gelişmiş lkelerde doğru ve sağlıklı beslenme kavramları ile birlikte anılmaktadır. Buna rağmen ülkemizde keçi sütü ve süt ürünleri toplum tarafından yeterince tanınmamakta, toplumun bu ürünleri tüketim alışkanlığı ise yeni yeni oluşmaktadır. Bu süt ürünlerinin fonksiyonel özelliklerinden dolayı, yakın gelecekte çok talep edilen ve gittikçe aranan ürünler arasına yerini alacağı kesindir. Bu nedenle bunun farkında olan ifti, sanayici ve tüketiciler, keçi ve koyun sütü ürünlerine daha çok ilgi göstermeye başlamıştır. Özellikle peynir sanayinde keçi ve koyun sütü çok tercih edilen bir sttr. Buna ilave olarak son yıllarda pazara pastörize keçi sütü de sunulmaktadır. Özellikle anne sütüne en yakın sütlerden bir olan keçi sütü bebek beslenmesinde önemli bir ürün olduğu bilinmektedir (oşkun ve ndl, 2004). Bu gelişmeler kuşkusuz bu sütlerin, sağlık açısından diğer sütlerden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bugün mevcut talebi bile karşılayabilecek oranda keçi ve koyun sütü yeterince retilenmemektedir

Yapılan bazı çalışmalar ise; sütlerin fonksiyonel özelliklerini artırmak için yağların ihtiva ettiği yağ asitlerinin oranlarının değiştirilebileceğini göstermiştir. Yani doymuş yağ asitleri (SFA) azaltılabilir, doymamış yağ asitleri (UFA) ise artırılabilir. Bunun için araştırmacılar, çalışmalarında çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) oranını zenginleştirme yöntemlerine yönelmişlerdir (Kralik ve ark.,

2008). Bunun amacı, SFA oranını azaltmak, aşırı doymamış yağ asitleri (PUFA) ve konjuge linoleik asit (CLA) oranını ise artırmaktır. HMSO' ya göre PUFA/SFA oranı yaklaşık 0.45 olursa, tüketilecek ürünün faydalı olacağı kanaati getirilmiştir. Ayrıca $\omega 6/\omega 3$ oranının 4'e yaklaşması arzu edilmektedir. Bu oran 4'e yaklaştıkça koroner kalp hastalıklarında pozitif etki artacağı için çok önemlidir (Department of Health 1994).

Konjuge linoleik asit (CLA), yağ asidi zincirinde farklı karbon pozisyonlarında iki konjuge çift bağa sahip doymamış yağ asitidir. CLA üç esansiyel yağ asidinden biri olan linoleik asitin iki çift bağının bir kaç pozisyonunu ve geometrik izomerlerini temsil etmektedir. Linoleik asitin bir veya her iki çift bağının yeri reaksiyonlarla değiştiğinde konjuge linoleik asit oluşmaktadır. Bugüne kadar birçok izomeri olduğu tespit edilen CLA, ilk defa Amerika Birleşik Devletleri'nde Wisconsin Üniversitesi'nden Micheal Pariza ve arkadaşlarının hamburger etinden elde ettikleri maddenin kanser oluşumunu engelleyen madde olarak ortaya çıkarılmıştır. Bu madde daha sonra konjuge linoleik asit olarak belirlenmiş ve kısaca "CLA" olarak gösterilmiştir. Doğal ürünlerde cis-9, trans-11 bulunurken, yapay ürünlerde ise trans-10, cis 12 vardır (Steinhart, 1996). İzomerlerin organizmadaki görevleri farklı olduğu için ayırım yapılmaları ve miktarlarının bilinmeleri ise önem arz etmektedir (Schmid ve ark., 2006).

CLA izomerleri, organizmada farklı yapıdadırlar (Mulvihill, 2001). İnsan sağlığı üzerine olan olumlu etkilerini araştırma çalışmaları, Pariza ve ark.'nın (1979) sığır etinden izole ettikleri antikarsinojenik bileşiğin bulunması ile başlamıştır. Uzun araştırmalar sonucu tavuklarda bağışıklık sistemini güçlendirdiğini, hamsterlarda kalp damar rahatsızlıklarını azalttığını, domuzların büyüme hızını arttırdığını, köpek ve domuzlarda vücutta yağ depolanmasını azalttığını, çeşitli hayvanlarda antikarsinojenik etki gösterdiğini gözlemişlerdir (Pariza ve ark. 2001). Başka bir çalışmada abdominal yağ birikimini azalttığı, kolesterol ve trigliserit miktarını düşürdüğü

ve bağışıklık sistemini güçlendirdiği ileri sürülmektedir (Huang ve ark., 2008).

Punisik asit ise karaciğerde lipid seviyesini düşürmede etkili olduğu bilinmektedir. Kalp ve damar hastalıklarına karşı vücuda yardımcı olduğu gibi kötü kolesterol olarak bilinen LDL'yi azaltıcı tesirleri bilimsel araştırmalara konu olmaktadır. Konjuge linoleik asit aynı zamanda göğüs, kolon ve prostat kanserleri karşısında koruyucu etki göstererek, bu hastalıkları önleyebilir. İçeriğinde bulunan punisik asit sayesinde bağışıklık sistemini kuvvetlendirir. Punisik asit sadece nar çekirdeği yağına özgü bir yağ asiti olup, miktarı ortalama tüm yağ asiti bileşiminin % 70-75'ini oluşturmaktadır. Yapısındaki özel bileşenlerden dolayı güçlü antioksidan özelliğe sahiptir.

Çiğ sütteki en önemli kontaminasyon kaynağı ise aflatoksinlerdir. Süt ve süt ürünlerindeki aflatoksin varlığının gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere dünya çapında önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır (Kupiec, 2004). Aflatoksinler besinlerde ve yemlerde bulunan toksik fungal metabolitlerdir. Ruminantlar laktasyon döneminde Aflatoksin B1 (AFB1) ile kontamine yemlerle beslendiklerinde, toksin sindirim sisteminde metabolize olarak sütte Aflatoksin M1 (AFM1) oluşumuna neden olmaktadır. Aflatoksinler, bağışıklık sisteminin baskılanması, tümör oluşumu, ciddi karaciğer hasarı, karsinojenik ve teratojenik etkilere yol açması nedeni ile insan ve hayvan sağlığı üzerinde önemli derecede olumsuz etkilere sahip olabilen bileşiklerdir (Ketney ve ark. 2017)

Süt üretimini artırmak için birçok yöntemler vardır. Bu yöntemler kullanıldığı zaman sütün verimini olumlu yönde etkilemektedir. Keçi sütü ve koyun sütünün ortak kullanım alanlarının olmasından dolayı hangisinin yetiştirilmesinin mantıklı olacağı hakkında karar vermek üreticiye düşmektedir. Bugüne kadar keçi sütü ve koyun sütünde yağ asitleri kompozisyonları ile konjuge linoleik asit miktarları çeşitli yöntemlerle belirlenirken, punisik asit değeri ise belirlenmemiştir. Belirlenen değerler birbirleriyle karşılaştırılmamıştır. Bu çalışmada, aynı yaş, ırk ve kilodaki keçi ve

koyunlardan elde edilen sütlerin yüzde kimyasal özellikleri (toplam kuru madde, ham kül, ham protein, ham yağ ve laktoz), somatik hücre sayısı, yağ asitleri kompozisyonları ile konjuge linoleik asit ve punisik asit miktarları belirlenip, birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. *Keçi ve Koyun Sütü Numunelerinin Bazı Özellikleri*
(n=10)

	Toplam Kurumadde	Yağ	Protein	Laktoz	Yağsız Kurumadde	Kül	Somatik Hücre
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Min	11.17±0.01	3.16±0.01	2.95±0.01	4.37±0.01	7.46±0.01	0.64±0.01	140±003
Mak	15.04±0.01	4.59±0.01	5.03±0.00	5.75±0.02	10.41±0.01	0.85±0.02	1470±131
Keçi Ort	13.46±0.01	4.24±0.01	3.86±0.01	5.00±0.02	8.91±0.01	0.76±0.06	602±008
Min	15.10±0.01	4.56±0.01	4.07±0.00	5.48±0.01	9.75±0.01	0.84±0.01	63±009
Mak	19.94±0.02	8.62±0.01	5.44±0.01	6.34±0.05	11.23±0.01	1.03±0.07	713±013
Koyun Ort	16.87±0.02	5.84±0.01	4.98±0.01	5.80±0.04	10.85±0.01	0.91±0.06	356±008

4. Tartışma ve Sonuç

Genel olarak keçi ve koyun sütündeki yağ asitleri kompozisyonları bazı farklılıklar görülmüştür. İlâveten, yağ asitlerini ırk, beslenme, yaş ve cinsiyet gibi faktörler etkilemektedir. Çalışmada elde edilen bulgular, farklı yer ve benzer ırklarla yapılan çalışma bulgularıyla karşılaştırılarak genel bir sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. 10 örneğe ait keçi ve koyun sütlerinin ortalama, minumum, maksimum değerleri standart sapmalarıyla birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Ortalama kimyasal kompozisyonları göz önünde tutulduğunda koyun sütünün % kimyasal bileşiminin, keçi sütünkünden daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Keçilerden elde edilen süt örneklerinde kurumadde %11.07 ile %15.04 arasında değişmektedir. Keçi sütünün ortalama kurumadde içeriği ise %13.46 olup, yapılan benzer diğer çalışmalardaki ortalama kurumadde değerleriyle kıyaslandığında belirlenen değerlerin %14.29-%11.40 arasında olduğu dikkati çekmektedir (Kesenkaş ve ark., 2010).

Koyunlardan elde edilen süt örneklerinde kurumadde %15.10 ile %19.94 arasında değişirken, ortalama kurumadde içeriğinin %16.87 olarak tespit edilmiştir. Süt ve süt ürünlerinin en önemli kalite ölçütlerinden olan kurumadde içeriği, özellikle yağ ve protein miktarıyla ilişki içerisinde. Daha önce yapılan çalışmalara ve literatür bilgilerine bakıldığında, yapılan çalışma ve analizlerle elde edilen sonuçlar arasında çok ekstrem değerler bulunmadığı görülmüştür. Sırasıyla keçi ve koyun sütlerinin ortalama yağ içerikleri %4.24 ve %5.84 iken, ortalama protein içerikleri %3.86 ve %4.98, ortalama laktoz içerikleri ise %5.00 ve %5.80, ortalama yağsız kurumadde içerikleri %8.91 ve %10.85, ortalama kül içerikleri ise %0.76 ve %0.91'dir. Vázquez ve ark. ise keçi sütünde minimum, maksimum ve ortalama yağ miktarlarını sırasıyla %2.38, %4.24, %3.24 olarak hesaplamışlardır (1999). Buna rağmen keçi sütünün ortalama somatik hücre sayısı (602) ise koyun sütlerinin ortalama somatik hücre sayısı (356) çok daha yüksek bulunmuştur. Hayvanın türü, ırkı, yaşı, laktasyon dönemi, sağlık durumu ve süt bileşimi, sütlerin kimyasal özellikleri ve somatik hücre sayıları üzerinde etkili olan önemli faktörlerdir.

Hayvanın yaşı, diyeti, cinsi ve sezonluk farklılıklar ruminant hayvanlarda CLA içeriğini etkileyen diğer faktörlerdir. Keçi ve koyun sütlerinin % yağ asitlerinin kompozisyonu Tablo 2.'de verilmiştir. Doymuş yağ asitlerinin çoklu doymamış ve tekli doymamış yağ asitlerinden daha fazla miktarda olduğu görülmüştür. Doymuş yağ asitleri arasında en yüksek yüzdeye sahip olan yağ asidi palmitik asittir. Daha sonra en yüksek yüzdeye sahip doymuş yağ asidi ise stearik asittir. Bunu takiben üçüncü en yüksek yüzdeye sahip doymuş yağ asidi miristik asit olduğu gözlenmiştir. Her bir süt örneğindeki yağların toplam yağ asitleri kompozisyonları, doymuş yağ asitleri, doymamış yağ asitleri, doymamış/doymuş yağ asitleri, tekli doymamış yağ asitleri, çoklu doymamış yağ asitleri, omega 3, omega 6 ve omega 6/3 oranları ve doymuş yağ asidinin çoklu doymamış yağ asidine oranı ile ilgili veriler, ilgili tabloda görülmektedir (Tablo 2). Zeytinyağının karakteristik özelliğini ihtiva eden oleik asit, tekli doymamış yağ asitlerinin arasında en yüksek yüzdeye sahip yağ asidi olarak gözlenmiştir. Yağ asidi

kompozisyonu içinde hem en yüksek yüzdede hem de tekli doymamış yağ asitleri arasında en yüksek yüzdede olan tekli doymamış yağ asidi çeşididir. Bunun yanısıra çoklu doymamış yağ asitleri beslenme yönünden önem arz etmektedir. Her iki süt örneklerinde de en fazla C 18:1, oleik asit %31.10 ve %31.20 olarak bulunmuştur. Bunu sırasıyla C 16:0, palmitik asit %28.38 ve %28.95, C 18:0, stearik asit %13.04 ve %11.46, C 14:0, miristik asit %9.51 ve %9.97 oranlarla takip etmektedir. Bu en yüksek 4 yağ asidinin toplamı %80'dir. Geriye kalan diğer yağ asitleri toplamından oluşan kesim ise % 20 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada sağlık açısından önemli yağ asitlerinden olan C 20:5, EPA % 0.02 ve C 22:6 DHA % 0.03 olarak bulunmuştur. Süt örneklerinin yağ asitleri kompozisyonları yaygın bir özellik göstermekle birlikte paralel benzerlik söz konusudur.

Tablo 2. *Keçi ve koyun sütü numunelerinde % yağ asidi kompozisyonları (n=10)*

Yağ asitleri	Keçi	Koyun
C 4:0	0.29±0.02	0.23±0.01
C 8:0	0.47±0.01	0.54±0.06
C 10:0	4.22±0.59	4.09±1.97
C 12:0	2.93±0.68	2.51±1.25
C 14:0	9.51±0.02	9.97±1.50
C 15:0	1.68±0.19	1.90±1.06
C 16:0	28.38±2.62	28.95±2.75
C 17:0	1.09±0.07	1.63±0.39
C 18:0	13.04±0.19	11.46±0.68
C 20:0	0.11±0.04	0.16±0.04
C 21:0	0.05±0.02	0.05±0.02
Σ Doymuş	61.75±3.85	61.50±5.44
C 14:1	0.30±0.10	0.30±0.07
C 16:1	1.54±0.14	1.80±0.86
C 17:1	0.53±0.08	0.46±0.43
C 18:1	31.20±2.63	31.30±3.52
C 20:1	0.03±0.00	0.03±0.00
Σ MUFA	33.59±2.80	33.88±4.87

C 18:2	3.52±1.03	3.48±0.75
C 18:3	1.48±0.13	1.49±0.13
C 20:3	0.03±0.03	0.29±0.04
C 20:4	0.30±0.04	0.03±0.01
C 20:5	0.02±0.01	0.02±0.03
C 22:4	0.02±0.03	0.02±0.02
C 22:5	0.03±0.00	0.04±0.03
C 22:6	0.02±0.04	0.03±0.00
Σ PUFA	5.41±1.05	5.39±0.52
Σ Omega 3	1.58±0.08	1.86±0.22
Σ Omega 6	3.84±0.97	3.53±0.73
Σ Omega 6/3	2.52±0.50	1.98±0.68
Σ Doymuş/Pufa	11.88±2.85	11.89±2.04
Cis9-T12 rumenik asit	0.23±0.02	0.25±0.01
T10-Cis 12	0.002±0.01	0.0003±0.00
Punisiik asit	0.012±0.00	0.015±0.01
Σ CLA	0.244±0.01	0.2653±0.02

Toplanan keçi ve koyun sütlerinde En düşük AFM1 düzeyi 0,1 ng/L, en yüksek ise 49 ng/L olduğu görülmektedir. Analiz edilen süt örneklerinde AB ve Türk Gıda Kodeksinin, süt ürünleri için belirlemiş olduğu yasal limit olan >50 ng/L’ın altında AFM1 tespit edilmiştir.

Çalışma süresince analiz edilen süt örneklerinde, izin verilen AB limit sınırının (>50ng/L) altında olduğu saptanmıştır. Keçi sütü örneklerinin AFM1 düzeyi, diğer süt türlerine göre yasal sınırı aşma oranına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Süt türleri arasında AFM1 görülme sıklığı açısından anlamlı bir fark bulunmaktadır (P<0,05).

AFM1 oluşmasında temel kaynak yemlerin uygun koşullarda depolanamamasından kaynaklanmaktadır. Sütlerde AFM1 kontaminasyonunu azaltmak için hayvan yemlerinin sık sık AFB1 açısından kalite kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, hesaplanan değerlere göre bulunan sonuçlar açısından, ülkemizde tüketilen ve ihracı sağlanan süt çeşitlerinin ekonomik,

sağlık ve kolektif anlamda üretici ve tüketiciye pek çok yararlar sağlayabileceği açık ve net olarak görülebilmektedir. Keçi ve koyun sütünün insan sağlığı ve beslenmesi yönünden olumlu özellikleri düşünüldüğünde bu hayvanlardan üretilen süt ürünlerinin de değerli olduğu açıktır. Araştırma sonuçları, keçi sütünün biyolojik olarak koyundan oldukça farklı olduğunu koymuştur. Dolayısıyla keçi yetiştiriciliği, süt hayvanı yetiştiriciliği içerisinde önemli bir alternatiftir. Ayrıca yerel pazarlara hitap eden keçi sütü ürünlerinin varlığı avantaj olarak kullanılabilir. Özellikle organik ve sağlık anlamındaki olumlu sloganlarla birleştirildiğinde yaygın pazarlara sunulabilme potansiyeli yüksektir.

Kaynakça

ANONİM, Çiğ Süt Standardı. TS.1018. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. (1981).

AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th Ed. 2nd Revision. Gaithersburg, MD, USA, *Association of Analytical Communities*, (1990).

AOCS, Official methods of analysis. Preparation of methyl esters of fatty acids. American Oil Chemist's Society. Ce 2-66, 1_/2. (1997).

COŞKUN, H., öndül, E., Keçi sütü ve insan beslenmesindeki önemi. Gıda 29(6): 411-418. (2004).

DEPARTMENT of Health, Report on health and social subjects no. 46. Nutritional aspects of cardiovascular disease. London: HMSO. (1994)

DUZGUNES, O, Kesici, T, Kavuncu, O., Gürbüz, F., Araştırma ve Deneme Metotları, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, (1987).

ERICKSON, D.R., Dunkley, W.L., Spectrophotometric determination of tocopherol in milk and milk lipids. Anal. Chem. 36: 1055-58. (1964).

GÜRGÜN V, Halkman K.A Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri.Gıda Teknolojisi Dergisi. No:7 Ankara. (1990).

HUANG, Y., Yanagita, T., Nagao, K. and Koba, K., 2008, Biological effects of conjugated linoleic acid. fatty acids in foods and their health implications, 3rd Edition, 825-836. (2008).

KESENKAŞ, H., Dinkçi, N., Kınık, Ö., Gönç, S., Ender, G. Saanen Keçisi Sütünün Genel Özellikleri. Akademik Gıda 8 (2) 45-48. (2010).

KETNEY, O., Santini, A., & Oancea, S. Recent aflatoxin survey data in milk and milk products: A review. International journal of dairy technology, 70(3), 320-331. (2017).

KIRALAN M., Gölükcü M., Tokgöz H., Oil and Conjugated Linolenic Acid Contents of Seeds from Important Pomegranate Cultivars (*Punica granatum* L.) Grown in Turkey, Journal of the American Oil Chemists' Society, 86, 10, 1029-1029, (2009).

KRALIK, G., Gajčević, Z., Škrtić, Zoran, The effect of different oil supplementations on laying performance and fatty acid composition of egg yolk, Italian Journal of Animal Science, 7, 173-183. (2008)

KUPIEC, T. Quality-control analytical methods: High-performance liquid chromatography. International journal of pharmaceutical compounding, 8, 223-227. (2004).

MULVIHILL E., Ruminant Meat As A Source Of Conjugated Linoleic Acid (CLA), British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin, 26, 295-299. (2001).

MWANZA, M., Abdel-Hadi, A., Ali, A. M., & Egbuta, M. Evaluation of analytical assays efficiency to detect aflatoxin M1 in milk from selected areas in Egypt and South Africa. Journal of Dairy science, 98(10), 6660-6667. (2015).

OYSUN, G., Süt ve Ürünlerinde Analiz Yöntemleri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 504, Bornova, İzmir (2001).

PARIZA, M. W., Ashoor, S. H., Chu, F. S., Lund, D. B., Effects of temperature and time on mutagen formation in pan-fried hamburger, *Cancer Letters* 7, 63-69. (1979).

SCHMID, A., Collomb, M., Sieber, R., ve Bee, G., Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review, *Meat Science*, 73, 29-41. (2006).

STEINHART, C., Conjugated linoleic acid the good news about animal fat. *Journal of Chemistry Education*, 73, A302. (1996).

TUIK (2014). www.tuik.gov.tr

VÁZQUEZ, J.A.T., Valencia-Posadas, M., Castillo- Juárez, H., Montaldo, H.H., Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livestock Science* 126, 147-153. (1999).

BÖLÜM III

Helal Uygunluk Doğrulama Analizlerinde Kullanılan İleri Gıda Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi

İsra YİĞİTVAR¹

Giriş

Müslüman ve gayrimüslim tüketicilerin sağlık, çevre ve kalite kaygılarıyla helal belgeli gıda ürünleri satın alma talebi, gıda endüstrisinde helal belgeli ürünlerin üretilmesine olanak sağlamış ve organik, vejetaryen ve vegan gıda gibi özel tüketim ürünlerinin yanı sıra, helal belgeli gıdaların da üretilmesi sektöre bir çeşitlilik kazandırmıştır. Helal gıda, “İslami kurallara göre tüketilmesine izin verilen ve İslami gerekliliklere uygun olarak üretilen gıda”yı ifade etmektedir (OIC/SMIIC 1, 2019). Müslüman tüketicilerin helal gıda tüketimine yönelik talebinin artması ile helal gıda pazarı, küresel çapta önemli bir potansiyele sahip olmuştur. Bu bağlamda, İslam Ekonomisi pazar büyüklüğü tahminlerine göre, Müslüman tüketicilerin gıda harcamalarının 2023'te pazarın %16.6'lık bir payını

¹ Dr., T.C. Helal Akreditasyon Kurumu, Ankara/Türkiye, Orcid: 0000-0001-8950-2434, i.yigitvar@hak.gov.tr

oluşturduğu ve 1.13 trilyon ABD dolarına ulaştığı belirtilmiştir (DinarStandard, 2023). Helal gıda sektörünün İslam İşbirliği Teşkilatı (İİT)² ülkelerinde ve Müslüman tüketicilerin helal belgeli gıda talebinde bulunduğu gayrimüslim ülkelerde gelişmesi ve büyümesinde 1970’lerde Malezya’da başlayan helal belgelendirme süreci etkili olmuştur. Helal belgelendirme, “*tüketickiye sunulan ürün ve hizmetlerin İslami kurallar ışığında hazırlanan ilgili standartlara³ uygun olup olmadığının belirlenmesidir*” (OIC/SMIIC 2, 2019). İİT bünyesinde 2010 yılında helal sektörüne yönelik uluslararası standartların yayımlanmasından sorumlu hükümetler arası bir kuruluş olan SMIIC⁴ kurulmuştur. Kasım 2024 itibariyle 3’ü gözlemci üye olmak üzere 47 adet üyesi bulunan SMIIC bünyesinde İİT devletlerinde standartların uyumlaştırılması amacıyla ortak standartlar oluşturulmakta ve böylelikle ticarete teknik engellerin ⁵ azaltılması ve ticaretin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda; gıda ürünleri, ürün ve hizmet alanında helal uygunluk değerlendirmesi yapan kuruluşlar (HUDK) yani helal belgelendirme kuruluşları tarafından üretici/hizmet sağlayıcı firmaların taleplerine istinaden helal belgelendirme süreçlerine tabi tutulmakta ve HUDK’lar tarafından helal standartlarına göre yürütülen faaliyetler sonucunda helallik şartlarını sağlayan ürün ve hizmetlere helal belgesi düzenlenmektedir.

² İslam İşbirliği Teşkilatı (İİT/Organisation of Islamic Cooperation, OIC): 1969 yılında Fas’ın başkenti Rabat’ta, Müslüman ülkeleri bir çatı altında toplamak üzere kurulan, uluslararası hukuk tüzel kişiliğini haiz ve 57 üyeye sahip olan bir teşkilattır.

³ Standart: Standardizasyon çalışmaları neticesinde yetkili kurum/kuruluşlar tarafından ortaya konan, yerine getirilmesi gereken koşulları kapsayarak, uygulanması (genellikle) tarafların isteğine bırakılan teknik özellik veya belgelerdir.

⁴ SMIIC: Standards and Metrology Institute for Islamic Countries / İslam Ülkeleri Standartlar ve Metroloji Enstitüsü, <https://www.smiic.org/en>

⁵ Ticarete teknik engel: Ülkeler tarafından uluslararası ticarete temel gereklilikler (insan, can ve mal güvenliği ile sağlığı, hayvan/bitki yaşam veya sağlığı ile çevre ve tüketicinin korunması vb. konular) gerekçe gösterilerek alınan önlemlerin (teknik düzenleme, standart gibi), amacından sapması sonucu ticaretin kısıtlanmasıdır.

Helal belgelendirme süreçlerinin yetkin, tarafsız ve tutarlı olarak gerçekleştirilmesi gerekmekte ve bu aktivitelerin uygunluğunun teyidi ise helal akreditasyon ile mümkün olabilmektedir. Helal akreditasyon, *“helal uygunluk değerlendirme alanında faaliyet gösteren kuruluşların Helal Akreditasyon Kurumu (HAK) tarafından ulusal ve uluslararası kabul görmüş teknik kriterlere göre değerlendirilmesi, yeterliğinin onaylanması, düzenli aralıklarla denetlenmesi ve izlenmesi”*ni ifade etmektedir.⁶ Ülkemizde helal akreditasyon hizmetlerinin yürütülmesi adına yetkilendirilmiş tek kurum olan HAK, 7060 Sayılı Helal Akreditasyon Kurumu Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun⁷ ile 2017 yılında Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığının ilgili kuruluşu olarak kurulmuştur. HAK tarafından akreditasyon sürecine tabi tutulan HUDK’ların SMIIC tarafından yayımlanan OIC/SMIIC helal standartlarına göre belgelendirme hizmeti yürütmesi gerekmektedir.

Gıdaların helal belgelendirme süreçlerinde helal uygunluk doğrulama analizleri uygulanmakta ve helal iddiasında gıda üretimi gerçekleştirilen tesislerde, *“Helal olmayan kaynakların ve içeriğin tespit edilebilmesi amacıyla yapılan kontrol ve deneyler ulusal ve uluslararası düzeyde tanınan geçerli kılınmış ve doğrulanmış kontrol ve deney yöntemlerine uygun olarak gerçekleştirilmelidir.”* ve üretim prosesleri OIC/SMIIC 1:2019’da verilen gerekliliklere ek olarak tesisin yerleşik bulunduğu ülkede hâlihazırda yürürlükte olan ilgili yasal mevzuatla uyumlu olmalıdır (OIC/SMIIC 1, 2019). Dolayısıyla, söz konusu tesislerde helal uygunluk doğrulaması ve yasal gerekliliklerin sağlanmasına ilişkin uygulanabilir testler/analizler, ISO/IEC 17025 standardına göre ulusal bir

⁶ Helal Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarının Akreditasyonu Hakkında Yönetmelik m. 4/d, RG. 16.10.2019, S.30920.

⁷ Helal Akreditasyon Kurumu Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun m. 3/1&2, RG. 18.11.2017, S.30244.

akreditasyon kurumu tarafından ve/veya OIC/SMIIC 35:2020⁸ standardına göre akredite edilen bir laboratuvar tarafından gerçekleştirilmelidir. Gıda ürünlerinin helalliklerinin doğrulanması adına, DNA bazlı tanı teknikleri, kromatografik ve spektroskopik yöntemler ve biyosensör uygulamaları gibi hassasiyeti yüksek ileri analiz yöntemleri geliştirilmiştir (Çebi, 2018; Rohman & Windarsih, 2020; Nurani & ark., 2022; Ng & ark., 2022). Buna ek olarak, helal sektöründe gıdalarda karşılaşılan taklit ve tağşiş vakaları ve durumu şüpheli olan ürünler için de daha fazla analize ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Premanandh & Bin Salem, 2017). Et ve et ürünleri, gıda hijyeni ve helallik anlamında yüksek risk ihtiva etmeleri nedeniyle helal belgelendirilme sektöründe önde gelmektedir. Bunun nedenlerinden birisi, et ürünlerinin beslenmede önemli bir bileşen olarak yer alması iken bir diğeri de et ve et ürünlerine talebin ve dolayısıyla et fiyatlarının artışı sonrasında taklit, tağşiş ve yanlış-yanıltıcı etiketleme vakalarının da artış göstermesidir (Chuah & ark., 2016). Düşük maliyetle üretilebilen taklit et ürünleri, domuz eti vb. helal olmayan et ve et ürünleri tüketimi konusunda dini çekinceleri olan Müslümanlar ve Yahudiler ile et tüketiminden kaçınan vejetaryen tüketiciler için ciddi bir sorun oluşturmaktadır (Ng & ark., 2022). Zira helal olarak belgelendirilecek gıdalar ve bileşenleri İslami kurallara göre helal olarak kabul edilmeyen herhangi bir maddeyi, herhangi bir miktarda içermemelidir (OIC/SMIIC 1, 2019). Günümüzde gıda kalitesi ve güvenliği konusundaki farkındalığın artması ile helal iddialı ürünlerin üretim yöntemi, teknik prosesler, beyan edilmemiş bileşenlerin tanımlanması, ikame ürünlerin kullanılması gibi birçok süreci kapsayan helal uygunluk doğrulama çalışmaları hız kazanmıştır. Bu durum, helal olarak

⁸ The Standards and Metrology Institute for Islamic Countries. (2020). *OIC/SMIIC 35:2020 Conformity assessment – general requirements for the competence of laboratories performing halal testing general requirements for halal food*. İstanbul, Türkiye.

belgelendirilecek gıdaların uygunluk doğrulamasında kesin ve güvenilir sonuçlar elde etmek için analitik yöntemlere ilişkin kapsamlı araştırmaları teşvik etmiştir. Bununla birlikte, helal gıdaların doğrulanması çalışmalarında; gıdaların karmaşık yapısı, gıda ürünlerinin ve bileşenlerinin orijinine ulaşmanın her zaman mümkün olmaması ve tağşiş vakalarının yaşanması nedeniyle güçlükler de meydana gelmektedir. 1980'lerden günümüze kadar olan süreçte, daha etkili helal uygunluk doğrulama tespit sistemleri geliştirmek adına önemli çalışmalar yürütülmüştür (Ng & ark., 2022). Bu çalışma kapsamında, mevcut uygulamalar ile yeni geliştirilen uygulamaların karşılaştırılarak akademik araştırma çıktılarının değerlendirilmesi ve söz konusu analizlerin değerlendirilmesi ile başta helal uygunluk değerlendirme kuruluşları olmak üzere ürün/hizmet sağlayıcı firmalar ve helal sektörüne faydalı olabilecek bilgiler sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

Bu çalışma kapsamında, gıdaların helal olarak belgelendirilmesi süreçlerinde önem arz eden helal uygunluk doğrulama analizlerinin değerlendirilmesi adına ilgili uluslararası standartlar, çeşitli derleme makaleleri ile orijinal makaleler, kitaplar vb. kaynaklar belirlenerek bir araya getirilmiştir. Söz konusu çalışmaları belirlemek, seçmek ve indirmek için dünya çapında saygın kaynaklar olan Web of Science, Scopus, Google Scholar ve PubMed gibi veri tabanları kullanılmıştır. Literatür taramaları esnasında “helal gıda”, “helal belgelendirme”, “helal otantisite”, “helal uygunluk doğrulama analizleri”, “halal food”, “halal certification”, “halal authenticity”, “halal test methods” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler bir arada değerlendirilerek gıda ürünlerinin helal doğrulanmasında uygulanan ileri analitik yöntemler araştırılmıştır. Ardından çalışma kapsamında sunulacak bilgiler tasnif edilmiş ve bu doğrultuda bir derleme yapılmıştır.

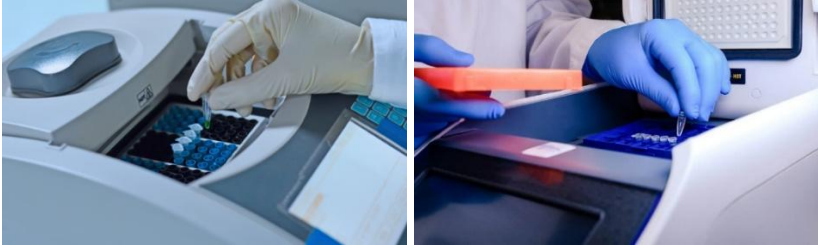
Helal Uygunluk Doğrulama Analizlerinde Kullanılan Bazı İleri Gıda Analiz Metotları

Bu bölümde, helal uygunluk doğrulama analizlerinde kullanılan ileri gıda analiz metotlarına yer verilmiştir. Bu doğrultuda, Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) gibi DNA bazlı metotlar, kromatografik ve spektrofotometrik teknikler ve sensör bazlı yeni analitik yöntemler ele alınmıştır. Bu yöntemlerin neler olduğu, gıda endüstrisinde kullanım alanları, helal uygunluk doğrulama analizlerindeki uygulama şekilleri başta olmak üzere söz konusu yöntemler hakkında açıklamalara yer verilmiştir. Araştırmacıların özellikle helal gıda analizleri kapsamında bu yöntemleri nasıl ele aldığı irdelenerek bu çalışmaların çıktıları sunulmuştur.

1. Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR)

Polimeraz Zincir Reaksiyonu (Polymerase Chain Reaction, PCR), bir organizmaya ait DNA'nın istenen bölgelerinin çoğaltılmasını sağlayan bir yöntemdir. İlk olarak Henry A. Erlich, Kary B. Mullis ve Randall K. Saiki tarafından 1985 yılında bilim dünyasına sunulmuş ve bu buluşu ile Mullis, 1993 yılı Nobel Kimya Ödülü Michael Smith ile paylaşmıştır.⁹ PCR ile moleküler biyoloji ve modern tıptaki gelişmeler büyük bir ivme kazanmıştır, bu nedenle de bilim dünyası tarafından *“PCR olmasaydı bugünkü modern tıp olamazdı”* şeklinde ifadeler dile getirilmiştir. ABD kökenli uluslararası bir şirket olan Perkin Elmer'de çalışan bilim insanları tarafından da PCR metodunda gerekli olan ısıtma ve soğutma süreçlerini sağlayan termal döngü cihazları icat edilmiştir (Şekil 1).

⁹ <https://www.nobelprize.org/>



Şekil 1. Polimeraz zincir reaksiyonunu gerçekleştiren termal döngü cihazları¹⁰

PCR, in vitro koşullarda DNA dizilerinin çoğaltılması prensibine dayanmaktadır (Güler, 2022). Dolayısıyla PCR, “moleküler fotokopi” olarak da adlandırılan bir tekniktir. PCR; uygulanması basit, sonuçları spesifik ve hassas bir tekniktir. PCR’da 3 (üç) adım bulunmaktadır ve çoğaltılan nükleotit miktarını, bu üç adımın tekrarlamaya sayısı belirlemektedir. PCR yönteminin kalıtsal hastalıklarda taşıyıcının ve hastanın tanısı, klinik numunelerde patojen mikroorganizmaların saptanması, adli tıp çalışmaları, kanser araştırmaları, gen tanısı araştırmaları, genetik mutasyonların belirlenmesi, genetik testlerin yapılması gibi sayısız kullanım alanı bulunmaktadır. PCR’ın verilen örnekler dışında gıda bilminde de et ve et ürünlerinde tür tayini, katkı maddelerinde domuz DNA’sı aranması ve alerjenlerin tespiti gibi nitel sonuçlar sunan, oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu açıdan PCR yöntemlerinin helal uygunluk doğrulama analizlerinde kullanılması, helal belgelendirme sektörü açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar arasında PCR’ın güvenilir, hassas ve spesifik bir yaklaşım sunması, işlenmiş ve ısıtılmış gıdaların analizinde de kullanılabilmesi yer almaktadır. PCR’da aynı zamanda yöntemin uygulanmasında kullanılan ekipman ve reaktiflerin maliyetinin yüksek olması, numunelerin sonraki

¹⁰ <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/koronavirus-teshisinde-de-kullanilan-pcr-yontemi-nedir>

analizler için tekrar kullanılamaması, analiz süresinin uzun olması, DNA amplifikasyonu için genlerden yüksek verimli ve spesifik primerlerin seçilmesi gerekliliği gibi dezavantajlar da söz konusudur (Ng & ark., 2022).

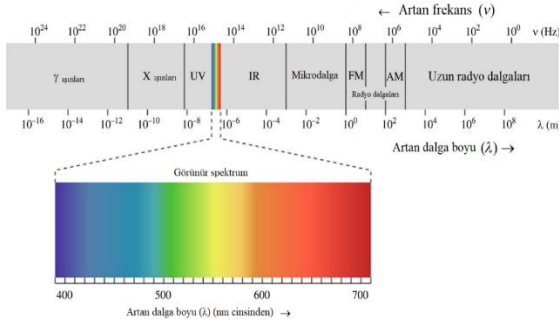
PCR ile gıda ürünlerinde yer alan hayvansal kaynaklı (domuz, sığır, tavuk, hindi, at, eşek, kedi, köpek vb. hayvanlardan elde edilen) girdilerin orijin tespiti için tür tayini yapılabilmektedir (Güler, 2022). Aida & ark. (2005) tarafından koyun, inek, tavuk ve domuzun et ve yağ içeriklerinin tespit edilmesi adına mitokondriyal sitokrom b geninde korunmuş bir bölgeye PCR analizi uygulanmış; domuz eti ve yağı numunelerinin tür tayini için bir yöntem geliştirilmiştir. Et ve yağ numunelerinden DNA'nın rutin ekstraksiyonu DNeasy® Tissue Kit (Qiagen) ile elde edilmiştir. Mevcut metodun helal otantisite analizlerinde (domuz eti ve yağının diğer hayvanlardan elde edilen ürünlerden ayrımı ve tespitinde) potansiyel olarak güvenilir bir teknik olduğu belirtilmiştir. Bir başka çalışmada, et ürünlerinde tür tayini (sığır, manda, bildircin, tavuk, keçi ve tavşan etlerini domuz etinden ayırmak amacıyla) DNeasy Tissue Kit (Qiagen Germany) kullanılarak “PCR-restriction fragment length polymorphism (RFLP)” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Murugaiah & ark., 2009). Söz konusu yöntem ile et türleri arasındaki sitokrom b genindeki genetik farklılıkların PCR-RFLP ile başarılı bir şekilde doğrulandığı ve yöntemin et taşımasını belirlemek ve karışık et ürünlerinde bulunan türleri ayırt etmek için kullanışlı, uygulanabilir ve güvenilir olduğu ifade edilmiştir.

Domuz derisinden, sığır kemiklerinden veya sığır derisinden elde edilebilen jelatin, sıklıkla helal uygunluk doğrulama analizlerine konu olan bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda, Abd Mutalib & ark. (2015) tarafından şekerleme/marshmallow gibi jelatin bazlı ürünlere QIAGEN

DNeasy Blood and Tissue kit (Qiagen, USA) ile DNA (tür) tayini yapılmıştır. “PCR-southern chip hibridizasyonu” ve geleneksel PCR analizleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında; “PCR-southern chip hibridizasyonu”nun, yüksek oranda işlenmiş gıdalarda domuz DNA'sının tespitinde yeni, güvenilir, hassas, tekrarlanabilir ve yararlı olduğu; bu tekniğin çok düşük miktardaki domuz DNA'sını tespit edebilme avantajına sahip olduğu belirtilmiştir. Sultana & ark. (2018) tarafından ise Malezya pazarından temin edilen 38 adet şekerleme ürününde (sakız, marshmallow, şeker, pastil vb.) üç tip jelatinin (sığır, domuz ve balık) tek bir testte tespit edilebilmesi amacıyla ‘Multipleks PCR’ yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada; jelatinin ana kaynaklarının domuz, inek ve balık kolajenleri olması, halihazırda jelatin kökenlerinin belirlenmesi için birkaç tek yönlü ve çift yönlü PCR testi bulunması, bu yöntemlerin zaman alıcı ve yüksek maliyetli olması ve tek bir testin farklı türler adına gerekli bilgileri ortaya koyamaması nedenleriyle geliştirildiği belirtilmiştir. Yeni yöntemin diğer yöntemlere göre daha iyi stabilite, hassasiyet ve güvenilirlik sağladığı ve bu yöntemin uygulanması ile tüketici haklarının güvenli bir şekilde korunması ve helalliğin bir bütün olarak sürdürülmesi adına mevcut testin büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir.

2. Moleküler Spektroskopisi

Moleküler spektroskopisi ile analitlerle belirli frekanslarda veya dalga boylarında (tüm elektromanyetik dalgaların yer aldığı elektromanyetik spektrum, Şekil 2’de sunulmuştur) elektromanyetik radyasyon arasındaki etkileşim, moleküler seviyede incelenmektedir.



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum¹¹

Spektroskopik analizler ile gıdaların yapısal, fiziksel, kimyasal, kalitatif ve kantitatif özellikleri hakkında detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Spektroskopik teknikler; etkin olmaları, hızlı sonuç vermeleri, analiz esnasında toksik reaktif/çözücü gerektirmemeleri, minimal veya sıfır numune hazırlığı gerektirmeleri ve aynı anda birden fazla analitin tespitinin yapılmasına imkan sağlamaları gibi avantajlara sahip olmaları nedeniyle gıda analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Gıda analizlerinde uygulanan spektroskopik teknikler arasında UV (Ultra Viyole)-görünür bölge spektroskopisi, atomik spektroskopi, kızılötesi (infrared) spektroskopisi, kütle spektroskopisi, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi (Şekil 3) gibi birçok teknik yer almaktadır (Çebi, 2018; Rohman & Windarsih, 2020). Gıda matrisinde yer alan farklı fonksiyonel gruplar birbirinden farklı moleküler profile sahiptir. Bu sayede moleküler absorpsiyondan sorumlu fonksiyonel gruplar sayesinde, gıda ürünlerindeki helal ve helal olmayan bileşenler arasındaki farklılıklar da belirlenebilmektedir (Ng & ark., 2022).

¹¹ <https://tr.khanacademy.org/science/chemistry/electronic-structure-of-atoms/bohr-model-hydrogen/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>



Şekil 3. NMR¹² ve FTIR¹³ spektrometreleri

Kromatografik ve spektroskopik ölçümler ile elde edilen spektrumlar ve kromatogramlar karmaşıktır; bu nedenle, birçok ileri gıda analiz tekniğinde olduğu gibi elde edilen verilerin yorumlanmasında kemometri gibi güçlü istatistiksel analizlerin kullanılması gerekmektedir. Uluslararası Kemometri Derneği'ne (International Chemometrics Society, ICS) göre kemometri, *“kimyasal sistemde yapılan ölçümlerin (konsantrasyon gibi) matematiksel veya istatistiksel yöntemlerin uygulanmasıyla ilişkilendirme bilimi”* şeklinde tanımlanmaktadır. Kemometri, helal otantisite çalışmalarında da moleküler spektrumların ve kromatogramların yorumlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Rohman & Windarsih, 2020). Çok değişkenli testlerin en yaygın türleri arasında çok değişkenli varyans analizi (MANOVA), çeşitli faktör analizi biçimleri [Temel Bileşenler Analizi/Principal Component Analysis (PCA) gibi], matematiksel modelleme yaklaşımları, yapay sinir ağları (ANN), diskriminant analizi vb. yer almaktadır (Granato & ark., 2018). NMR spektroskopisi, gıda analizleri için yaygın olarak kullanılan ve helal olmayan maddelerin tespiti için de potansiyel bir analitik yöntem olarak kabul edilen, gelişmiş bir moleküler spektroskopi türüdür. NMR

¹² <https://itn-snal.net/2014/10/nuclear-magnetic-resonance-spectroscopy/>

¹³ <https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/75/fourier-donusumlu-kizilotesi-spektrometresi-ftir>

spektroskopisinin prensibi, moleküllerin belirli radyo dalgaları ile etkileşime girerek dönüş yönünün değişmesine dayanmaktadır. NMR, helal olmayan maddelerin tespiti de dahil olmak üzere numunelerin ayrıştırılmasında fayda sağlayan parmak izi spektrumları elde edilmesini sağlar. NMR; pratik örnek hazırlığı, daha az çözücü gereksinimi (yeşil analitik kimya olarak da kabul edilmektedir), analiz için daha az zaman gerekmesi, yüksek oranda tekrarlanabilirlik sağlaması gibi avantajları nedeniyle ileri gıda analiz metotları arasında çok yönlü bir moleküler spektroskopi tekniği olarak yer bulmaktadır. En yaygın kullanılan teknik proton-NMR (^1H -NMR) spektroskopisidir, çünkü numune hazırlamada basitlik sunmakta, hızlı analiz süresi sağlamakta ve ham ekstrakt analizi için de kullanılabilir. Helal otantisite çalışmalarında NMR spektroskopisi kullanmanın yararı, NMR tekniğinin helal olmayan maddelerin tespiti de dahil olmak üzere, kompleks gıda matrislerinde metabolit parmak izi/profilini oluşturma yeteneğidir. NMR tekniğinin ölçümlerin çıktısı olan devasa veri setlerini yönetebilen kemometri analizi ile kombinasyonu, NMR'ı gıda ürünlerinin metabolomik analizinin yanı sıra helal uygunluk doğrulaması için de ideal bir yöntem haline gelmektedir (Rohman & Windarsih, 2020).

Günümüzde, katı ve sıvı yağ endüstrisinde de taklit-tağış vakaları (örneğin tereyağı gibi yüksek kaliteli yağların domuz yağı gibi daha düşük kaliteli yağlarla karıştırılması) yaşanmakta ve bunun sonucunda helal otantisite analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fadzilla & ark. (2017) tarafından tereyağında domuz yağı tağışının doğrulanması amacıyla yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile birlikte proton nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (^1H NMR) kullanılmıştır. Helal kimlik doğrulaması için kimyasal bir belirteç olarak domuz yağının triaçilgliserol (TAG) bileşiminin tanımlanması, HPLC ve ^1H NMR

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından ¹H NMR'ın, domuz yağı ile karıştırılmış tereyağının proton taşıyan bileşenlerinin tamamının tayini için yüksek verimli bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemin hızlı ve kullanım açısından kolay olduğu ifade edilmiştir.

Dana köftede domuz eti tağışışine sıklıkla rastlanması nedeniyle Endonezya'da (Cakarta) 2011 yılında yürütölen bir çalışmada, FTIR spektroskopisi kullanılmıştır (Rohman & ark., 2011). Bu çalışma ile FTIR spektroskopisi kullanılarak dana köftede domuz etinin tespiti ve miktarının belirlenmesi için hızlı bir teknik geliştirilmesi amaçlanmıştır. Domuz yağı, sığır yağı ve bunların köfte formölasyonundaki karışımları ile ilişkili spektral bantlar taranmış, yorumlanmış ve tanımlanmıştır. Sonuçlar, FTIR spektroskopisinin helal uygunluk doğrulanmasında dana köfte formölasyonundaki domuz etinin saptanması ve miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Çin'de gerçekleştirilen bir çalışmada ise helal ve helal olmayan (domuz etinden üretilen) sosislerde FTIR spektrometrisi ile helal kimlik doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda; 73 adet helal ve 78 adet helal olmayan sosis örneği için geliştirilen metoda özgü numune hazırlama ve analiz aşamaları sonucunda önemli veriler (uygun validasyon parametreleri) elde edilmiş ve her bir sosis türünün ayrıntılı incelemesi zorlukla gerçekleştirebilse de çalışma sonucunda Çin'deki bazı ana akım ve temsili örneklerin helal/helal olmayan ayrımı için güvenilir bir model oluşturduğu belirtilmiştir (Xu & ark., 2012).

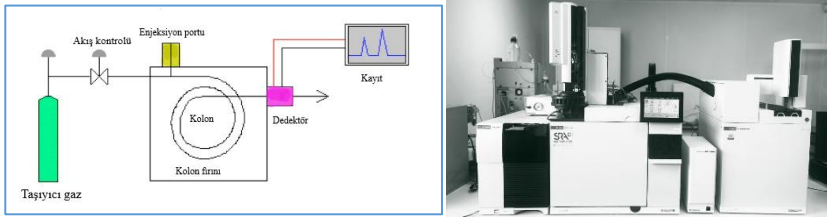
3. Kromatografik Yöntemler

Kromatografi teriminin kökeni Yunanca olup “renk yazımı” (“khamoma” renk; “graphe” yazı anlamındadır) anlamına gelmektedir (Eser & Dinçel, 2018). Kromatografi ilk olarak 1906'da

Rus botanikçi Mikhail Tswett tarafından klorofil vb. bitki pigmentlerinin ayırımında kullanılmaya başlanmış ve ardından biyokimyasal moleküllerin tanımlanmasında ve ölçümünde özellikle ayırıştırma ve saflaştırma gibi amaçlarla güçlü bir teknik olarak kullanılmıştır (Eser & Dinçel, 2018). Gaz Kromatografisi-Kütle Spektroskopisi (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy, GC-MS), Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC), Kağıt Kromatografisi ve İnce Tabaka Kromatografisi (Thin Layer Chromatography, TLC) gibi birçok kromatografik yöntem bulunmakla birlikte, helal uygunluk doğrulama analizlerinde GC-MS ve HPLC metodlarının en yaygın kullanılan teknikler olduğu müşahade edilmiş ve bu bölümde araştırmacıların bu teknikleri uyguladığı çalışmalara yer verilmiştir.

3.1. Gaz kromatografisi kütle spektroskopisi (GC-MS)

Gaz kromatografisi, gıda biliminde aromatik bileşikler dahil olmak üzere uçucu ve yarı uçucu maddeleri analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir ayırma yöntemidir. Kalitatif ve kantitatif tespitler için Programlanabilir Sıcaklıkta Buharlaştırma (Programmable Temperature Vaporizing, PTV), Darbeli Alev Fotometrik Algılama (Pulsed Flame Photometric Detection, PFPD) ve Halojene Özgü Algılama (Halogen Specific Detection- XSD) dahil olmak üzere çeşitli dedektörlere sahiptir ve bu yöntemle gıdaların otantisiteleri, parmak izi kromatografi profili elde edilerek doğrulanabilmektedir (Lehotay & Hajšlová, 2022). Gaz kromatografisi, çok çeşitli maddeleri tanımlamak ve ölçmek için kütle spektrometresi (MS) ile birleştirilerek kullanılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. GC-MS şematik gösterimi¹⁴ ve sistemi¹⁵

Çin’de gerçekleştirilen bir çalışmada; domuz sosisi, domuz pastırması, sosisli sandviç, domuz jambonu ve tütsülenmiş domuz etinde helal uygunluk doğrulama analizi olarak GC-CI-MS (Kimyasal İyonizasyon-Kütle Sprektroskopisi İçeren Gaz Kromatografisi) uygulanmıştır. Söz konusu yöntemin, N-nitrosodimetilamin (NDMA), N-nitroson-metiletilamin (NMEA), N-nitrosodietilamin (NDEA), N-nitrozopirrolidin (NPYR) ve N-nitrosodi-npropilamin (NDPA) gibi domuz eti tespitinde kullanılan farklı bileşenleri ayırmak ve tanımlamak adına güçlü bir teknik olduğu ve helal iddiasındaki gıda ürünlerinin doğrulama analizleri için hassasiyeti yüksek, uygulanabilir bir metot olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Huang & ark., 2013). Bir başka çalışmada, Headspace (tepe boşluğu) Analizörlü E-Burun ve Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi (GC/MS-HS) kullanılmış ve helal uygunluk doğrulama analizi kapsamında et türlerinin (domuz sığır, koyun ve tavuk eti) uçucu bileşiklerinin kalitatif tespiti ve ayrımının hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği bildirilmiştir. zNose™ (E-burun cihazı) yüzey akustik dalga (Surface Acoustic Wave, SAW) detektörünün frekansından türetilen VaporPrint™ adlı görsel bir koku modeli kullanılarak domuz etinden üretilen sosislerin sığır, koyun ve tavuk etlerinden üretilen sosislerden ayırt edilmesinin başarıldığı belirtilmiştir. Verilerin yorumlanması için temel bileşen

¹⁴<https://chem-net.blogspot.com/2013/07/what-is-gas-chromatography-gc.html>

¹⁵<https://6-napse.com/en/technical-means/analysis-gc-ms-gc-fid-gas-chromatography/>

analizi (Principal Component Analysis, PCA) uygulanmış ve elde edilen grafikte domuz etinin diğer et ve sosis türlerinden ayırt edilebilecek şekilde kümelandığı görülmüştür. Bir dakikadan kısa süren ve 5 g'dan az numune gerektiren yöntemin; gıdalardaki domuz bazlı içeriklerin tespiti için hızlı, doğruluk oranı yüksek (validasyon parametresi), düşük maliyetli ve çevre dostu bir helal doğrulama metodu olduğu ifade edilmiştir (Nurjuliana & ark., 2011).

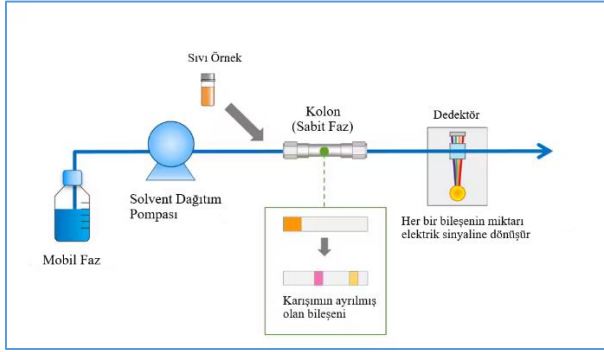
Dahimi & ark. (2014) tarafından yürütülen çalışmada, sığır ve tavuk yağlarında çok düşük konsantrasyonlardaki domuz yağı taşıyıcısını ayırt etmek için Alev İyonizasyon Detektörü (Flame Ionization Detector) ile gaz kromatografisinin (GC-FID) PCA ve K-ortalamlar kümeleme analizi gibi kemometrik tekniklerle birleştirilerek kullanımı araştırılmıştır. Sonuçlar; domuz yağı örnekleri düşük bir C16:0 yağ asidi (palmitik asit) içeriğine sahipken sığır donyağı ve tavuk yağının yüksek bir C16:0 yağ asidi içeriğine sahip olduğunu göstermiş ve bu yaklaşımın numunelerdeki domuz yağı içeriğinin tespit limitinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, domuz yağının daha yüksek C18:2 yağ asidi (linoleik asit) ve düşük C16:0 yağ asidi içerdiği, ancak sığır yağında sonuçların bunun tersi olduğu gösterilmiştir. Söz konusu metot ile yağ karışımlarında domuz yağının düşük bir oranda (%0.5 kadar) dahi tespit edilebildiği ifade edilmiştir. Başka bir çalışmada ise Endonezya iç piyasasında dolaşımda olan ithal ve helal belgeli çikolatalar, GC-MS ve FTIR ile incelenmiştir. Eikosadienoat isimli asidik bileşiklerin varlığının tespiti ile numunede domuz yağı bulunduğu ortaya konmuştur (Suparman, 2015). Araştırmacılar tarafından FTIR ve GC-MS spektroskopi yöntemlerinin, çikolata ürünlerinde domuz yağı içeriğinin tespitinde hızlı ve doğru yöntemler olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kore gıdalarının incelendiği bir çalışmada, fermente edilmiş beş farklı alkolün (metanol, etanol, n-propanol, n-bütanol ve n-pentanol) tayini için GC-MS kullanılarak analitik bir yöntem

geliştirilmiş ve sonuçlar kesinlik, doğruluk, duyarlılık ve doğrusallık açısından yeterli bulunmuştur (Park & ark., 2016). Çalışma kapsamında geliştirilen analitik yöntemin, helal belgelendirme süreçleri için Gochujang, Kimchi ve soya fasulyesi sosu (macun kıvamında, katı ve sıvı numuneler) gibi çeşitli fermente Kore gıdalarındaki beş alkol konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından helal belgelendirme konusunda yetkilendiren kuruluşlar ile iş birliği içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalarda, söz konusu metodun helal belgelendirme süreçlerinde resmi bir yöntem olarak yer verilmesi de önerilmiştir.

3.2. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC)

HPLC, 1960'lı yıllarda geliştirilen ve günümüzde de yaygın şekilde kullanılan bir analiz metodudur. Bu yöntem ile proteinler, karbonhidratlar, yağlar, vitaminler, gıda katkı maddeleri, renklendiriciler, pigmentler, kontaminantlar, amino asitler gibi birçok gıda bileşeni kalitatif ve kantitatif olarak tespit edilebilmektedir. HPLC sisteminde pompa, enjeksiyon bloğu, kolon ve dedektör bölümleri bulunmaktadır (Şekil 5). HPLC önemli bir ayırma tekniği olup analitin matristen ayrılma işlemi bir hareketli faz ile bir sabit faz arasında gerçekleşmekte ve ayrılmak istenen analit, bir sıvı hareketli faz ile kolonda moleküllerin hem kütle/yük oranlarına göre hem de kolondan çıkış zamanlarına göre taşınmaktadır. Analit içeriğinin sabit ve hareketli faz arasında dağılma yeteneği de ayırma işleminde rol oynamaktadır. HPLC sisteminde absorbans, floresans, refraktif indeks, elektrokimyasal, iletkenlik ve kütle gibi farklı türde dedektörler kullanılabilmektedir (Çebi, 2018).



Şekil 5. Şematik HPLC sistemi¹⁶

HPLC sistemi (Şekil 6) gıda analizlerinde iyi pik ayrılması ve yüksek kütle ölçüm doğruluğu sağlayabilmekte ve kompleks gıda matrislerinde etkin bir biçimde kullanılabilir. Bahsedilen bu özellikler, tekniğin kantitatif analizlerde daha güçlü, güvenilir ve etkin bir yöntem olarak kullanılmasına imkan tanımaktadır.



Şekil 6. Örnek HPLC sistemi¹⁷

Helal uygunluk doğrulama analizlerinde HPLC'nin kullanımı genellikle amino asitlerin tespitine dayanmaktadır (Ng & ark., 2022). Çünkü amino asitler, proteinlerin yapı taşıdır; serbest formdaki amino asitlerin bir araya gelmesi sonucu peptitler,

¹⁶ https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/liquid-chromatography/overview/overview_of_lc.html

¹⁷ <https://www.yalistlabs.com/product-page/agilent-1100-analytical-hplc-system-vwd>

polipeptitler veya proteinler oluşmaktadır. Helallik açısından en riskli ürünler arasında yer alan et/süt ürünleri ve jelatin gibi gıdalarda yüksek miktarda amino asit bulunmaktadır. Dolayısıyla amino asit bileşiminin belirlenmesi ile hayvansal gıdaların kaynakları (orijini) da belirlenebilmektedir (Ishaq & ark., 2020; Mariod & Fadul, 2013). Örneğin, Azilawati & ark. (2015) tarafından yürütülen çalışmada, ters faz yüksek performanslı sıvı kromatografisi (Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography, RP-HPLC) ile sığır, domuz ve balık jelatinindeki amino asit bileşimleri tanımlanmıştır. Söz konusu yöntemde amino asit dizilerinin belirlenmesi amacıyla türevlendirme reaktifi olarak 6-aminokinolil-N-hidroksisüksinimidil karbamat kullanılmıştır. 16 (on altı) adet amino asit, benzer spektral kromatogramlarla tanımlanmıştır. Örnekler arasındaki farklılığın boyutunu belirlemek ve genel değerlendirme yapmak için temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen temel bileşenlerden birinci temel bileşenin (PC1) tüm değişkenlerdeki bilginin %96.5'ini, ikincinin (PC2) %91'ini açıkladığı belirtilmiştir. Söz konusu PCA grafiği incelendiğinde farklı et örneklerine ait aminoasitlerin belirli bir alanda konumlandığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, 12 (on iki) adet ticari jelatin numunesinden 5 (beş) tanesinin domuz jelatini olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından bu kantitatif yöntemin çeşitli kaynaklardan elde edilen jelatinin kökenini belirlemek adına faydalı bir tarama yöntemi olduğu ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada, amino asit içeriğinin tespitine dayan PCA ile birleştirilmiş ters faz-yüksek performanslı sıvı kromatografisi (RP-HPLC) kullanılmış ve seçilen sığır, koyun, keçi ve tavuk eti numunelerinin domuz eti numunesinden ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu çalışmada, o-ftalaldehit (OPA) türevlendirme ve ultraviyole (UV) tespiti kullanılmış ve domuz eti ve diğer et türleri arasında en ayırt edici amino asitlerin valin, histidin, serin, alanin ve arjinin olduğu belirtilmiştir. Elde edilen bulgularla bu ileri analiz yönteminin et ve et ürünlerinin helal

uygunluk doğrulamasında hızlı, basit ve uygun maliyetli bir belirteç olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur (Jorfi & ark., 2012).

2014 yılında Von Bargen & ark. tarafından yürütülen çalışmada ise ileri işlenmiş gıdalarda at ve domuz etinin hızlı ve hassas tespiti için yeni bir HPLC–MS/MS tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, türe özgü triptik işaret peptitlerinin tespit edilmesi ile farklı gıda matrislerinde at ve domuz etinin spesifik ve hassas tespiti sunulmuştur. Polarite belirlenmesi ile işlenmiş gıda matrislerini bileşenlerine ayıran bu yaklaşımın, basit, hızlı ve spesifik bir algılama sağladığı belirtilmiştir. Bu yöntemin özel proteomik çalışmaların olmadığı analitik laboratuvarlarda da rutin olarak kolayca uygulanabileceği ifade edilmiştir. Amino asitler radyasyonu absorbe etmediğinden, türevlendirme için uygun bir kromofor veya florofor gerektiği, cihazın (HPLC sistemi) nispeten pahalı (yaklaşık 10.000 \$) olduğu ve çalıştırılmasının önemli ölçüde uzmanlık gerektiği de eklenmiştir. Ancak çalışmacılar tarafından optimize edilen bu metot, işlenmiş gıda analizlerinde sınırlı hassasiyet veya özgüllüğe sahip olan ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) ve PCR gibi rutin olarak kullanılan yöntemlerin yerine önerilmiştir.

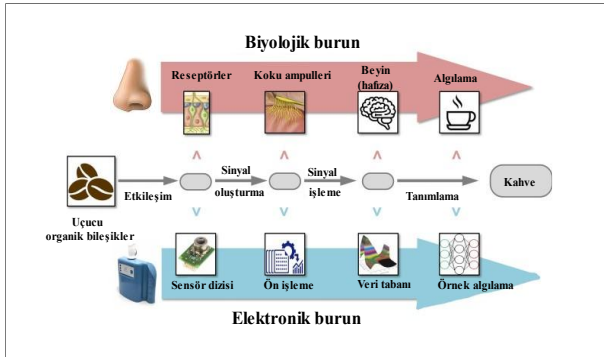
4. Elektronik Burun (E-burun)

Elektronik burun, insanların biyolojik koku alma sistemini taklit etmek için tasarlanmış bir algılama sistemidir (Ng & ark., 2022). Çalışma prensibi, uçucu bileşiklerin adsorpsiyonu sırasında uçucu bileşiklerle etkileşime girerek fiziksel bir değişimine neden olan yarı seçici sensörlere dayanmaktadır (Di Rosa & ark., 2017). E-burun (Şekil 7), gıda endüstrisinde tazelik ve olgunluk testleri, raf ömrü analizi, otantisite testleri ve patojen mikroorganizmaların tanımlanması gibi analizlerde kullanılmaktadır (Ng & ark., 2022).



Şekil 7. Elektronik burun¹⁸

E-burun analizinin düşük maliyet, hızlı ve doğru kalitatif tespit, az miktarda numune gerektiren yüksek hassasiyet (gıda aromalarını analiz etmede önemli bir avantajdır), çevre dostu olma, basit örnek hazırlık süreci ve kütle spektrometresi gibi diğer cihazlarla entegrasyon yeteneği gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak bu metotta, yüksek konsantrasyonlu analitlerin analizinde hassasiyet azalmakta ve bazı sensörlerin kullanım ömrü kısa olmaktadır. Elektronik burun kavramı, memeli koku alma duyusuna benzemektedir. Bir e-burun tarafından yapılan uçucu organik bileşen analizi, örüntü (Şekil 8) tanımayaya dayalıdır ve memelilerin koku alma duyusunu andırmaktadır (Ng & ark., 2022).



¹⁸ <https://airsense.com/en/products/portable-electronic-nose>

Şekil 8. Biyolojik burun ve e-burun tarafından gerçekleştirilen uçucu organik bileşen analizi örüntüleri (Peters & ark., 2020)

Gıda ürünlerinin helal uygunluk doğrulama analizlerinde e-burun yöntemi ile birlikte ileri teknikler de kullanılmaktadır. Örneğin e-burun, GC-MS ile entegre edildiğinde analiz edilen e-burun sinyallerinin nitelik ve niceliksel karakteristikleri bir arada belirlenebilmektedir. Wang & ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, et tağşişinin tespitinde e-burun, GC-MS ile birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada, koyun etindeki tağşişi belirlemek için model tağşiş edici olarak düşük maliyeti, lezzet bakımından koyun etine benzerliği ve Çin'de sıklıkla tağşiş vakalarında kullanıldığı bilinen ördek eti kullanılmıştır. GC-MS sonuçları ile e-burun yönteminin koyun etindeki ördek eti tağşişini minimum %10 oranında tespit etmek amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemin hızlı, verimliliği artıran ve yüksek bir doğruluğa sahip olduğu ifade edilmiştir.

Nurjuliana & ark. (2011) tarafından yürütülen bir çalışmada da, e-burun ve GC-MS kullanılarak domuz eti hızlı bir şekilde tanımlanmıştır. Domuz eti ile diğer et ve et ürünlerinin uçucu bileşikleri, helallik doğrulaması amacıyla incelenmiştir. Domuz sosislerinin sığır eti, koyun eti ve tavuk etleri sosislerinden tanımlanması ve ayırt edilmesinde yöntemin başarıyla kullanıldığı belirtilmiş ve temel bileşen analizinde (PCA) domuz etine ait uçucu bileşikler münferit bir şekilde kümelenip diğer et ve sosis türlerinden ayırt edilebilmiştir. Bir başka çalışmada, helal belgelendirme sürecindeki soya sosunun etanol içeriği, e-burun kütle spektrometrisi (MS) kullanarak analiz edilmiş ve bu yöntem gaz kromatografisine (GC) alternatif bir metot olarak denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, etanol konsantrasyonlarının %0.5'ten yüksek olduğu numunelerde sonuçların %96.6'dan fazlasının doğru olduğu raporlanmıştır. Bu nedenle, e-burun tabanlı kütle spektrometrisinin,

helal uygunluk doğrulama analizlerinde etanolün belirlenmesi amacıyla birincil tarama aracı olarak etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Park & ark., 2017).

Sarno & ark. (2020) tarafından yürütülen çalışmada ise sığır etinde domuz eti tağışışının tespit edilmesi amacıyla Optimize Edilmiş E-Burun Sistemi (OENS) kullanılmıştır. OENS'in uygun gürültü filtreleme, optimize edilmiş bir sensör dizisi ve destek vektör makinesi (SVM) parametreleri gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir. Yedi farklı sığır eti ve domuz eti karışımından oluşan numunelerin sırasıyla %100 sığır eti, %100 domuz eti, %10, %25, %50, %75 ve %90 sığır-domuz eti içerdiği ve her numunenin 15 dakika süreyle analize tabi tutulduğu ifade edilmiştir. Analiz sonuçlarının, %98.10'luk bir doğruluğa sahip olduğu, bu nedenle OENS'in helal uygunluk doğrulama amacıyla önerilen bir analiz olduğu belirtilmiştir.

5. Biyosensör Uygulamaları

Biyosensörler, bir biyo-algılama materyali ve bir transdüser (bir enerji biçimini başka enerji biçimlerine dönüştürebilen araç) içeren cihazlardır (Şekil 9). Biyosensörlerin çalışma prensibi, biyolojik algılama kapasitesine sahip elementlerin seçiciliği ve hedef analitin konsantrasyonuyla orantılı olarak sinyal üretilmesine dayanmaktadır. Hedef analitleri seçici olarak tespit edebilen ve nicel olarak görüntüleyebilen biyosensörler; enzimler, antikorlar, nükleik asitler, hücreler, dokular ve organeller gibi biyolojik ve kimyasal maddelerinin tespitinde kullanılmaktadır (Tüylek, 2021).



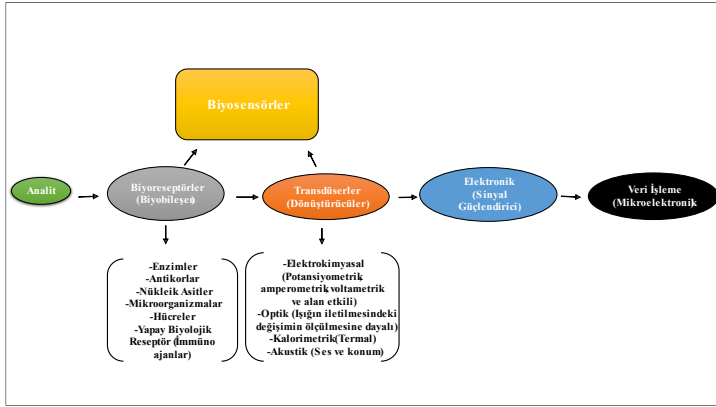
Şekil 9. Biyosensör örnekleri^{19,20}

Gıda analizlerinde biyosensör uygulamalarına bakıldığında tekniğin gıdalarda fiziksel özellikler, kimyasal bileşenler, alerjenler, patojen mikroorganizmalar, toksinler, vitaminler, antibiyotikler ve pestisitlerin tespitinde kullanılmakta olduğu ve analizlerde enzim, mikrobiyal, DNA ve immün kaynaklı sensörlerin tercih edildiği görülmektedir. Şekil 10'da biyosensör bileşenleri (Tüylek, 2021) sunulmuş olup biyosensörlerin geleneksel analiz tekniklerine göre;

- Biyolojik olarak algılayıcı elementler ile seçicilik sağlaması,
- Örnek ön hazırlığına gerek duyulmaması,
- Fazla miktarda numuneye ihtiyaç duyulmaması,
- Yüksek hassasiyete sahip sonuçlar elde edilmesi ve
- Hızlı sonuç veren basit kullanım olanaklarına sahip olması gibi avantajları bulunduğu belirtilmiştir (Aykut & Temiz, 2006).

¹⁹ <https://www.news-medical.net/news/20210212/The-Future-of-Environmental-and-Food-Monitoring.aspx>

²⁰ <https://www.tectronik.it/en/senzytec/>



Şekil 10. Biyosensör bileşenleri

Helal uygunluk doğrulama analizleri kapsamında gıdalarda biyosensör teknolojisinin uygulanması, gıdaların otantisite tayininde yeni bir dönem olmakla beraber, özellikle helal olmayan bileşenlerin belirlenmesi başta olmak üzere gıdaların tazeliği, güvenilirliği ve kalitesi gibi karakteristiklerin de belirlenmesi açısından gıda endüstrisinde büyük ilgi görmektedir (Ng & ark., 2022).

Et ürünlerinin helal otantisite tespitinde PCR, GC-MS, HPLC ve FTIR gibi birçok analitik yöntem uygulanmaktadır. Öte yandan nanoteknoloji, son zamanlarda özellikle et ürünlerinin helallik doğrulamasında kullanılan biyoalgılama uygulamalarında büyük bir potansiyel göstermiştir. Hızlı testler, daha az maliyetli malzemeler ve altın nanoparçacık tabanlı sensörlerin taşınabilirliği gibi avantajlar ile biyosensör uygulamalarının et ürünleri analizinde geleneksel yaklaşımları değiştirmesi beklenmektedir. Altın nanoparçacıklar kullanılarak et ürünlerinde tür tayini, nanoparçacıkların optik özelliklerinin renginin değişmesi prensibine dayanmaktadır. Birçok geleneksel ve modern işlenmiş et ürünleri (köfte gibi), altın nanopartiküllerin uygulanmasıyla test edilmiştir. Altın

nanopartiküllerin kullanıldığı biyosensör uygulamalarının diğer yöntemlere kıyasla daha düşük maliyete sahip olması, pahalı yöntemlere yeni bir alternatif sunmaktadır. İlaveten altın nanopartikül sensörler çok küçük miktarlarda analiti, hızlı bir biçimde algılamakta ve analiz sırasında herhangi bir ekipman gerekmemektedir. Dolayısıyla PCR'dan farklı olarak, altın nanopartiküllerin kullanıldığı analizlerde, küçük ve taşınabilir kitler kullanılmaktadır. Fakat, altın nanopartikül kullanıldığı sistemlerde problemlerin her bir analit için analiz öncesi kalibre edilmesi, farklı hayvan etlerinin tür tayininde ilgili et türüne özel problemlerin tasarlanmasının gerekmesi, araştırmacıların kararlı nanoparçacıklar üretmesi ve farklı hayvan etleri için özel dedektörlerin tasarlanması gerekmektedir (Ng & ark., 2022).

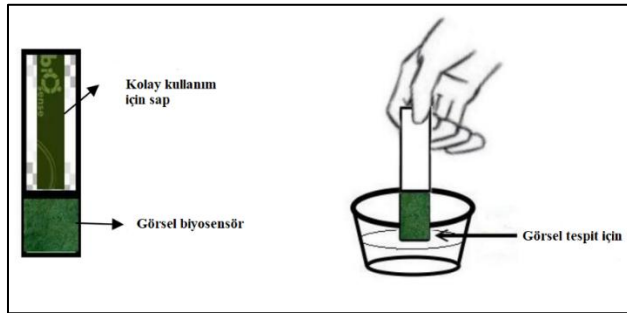
Subara & Jaswir (2018) tarafından yürütülen çalışmada, spesifik problemlarla modifiye edilmiş altın nanopartikül sensörlerin domuz-tırsi balığı, domuz-geyik ve tırsi balığı-geyik gibi 11 tür et karışımının tür tayininde kullanıldığı belirtilmiştir. Analiz esnasında altın nanopartikül sensörler, domuza özgü bir nükleotitle temasın ardından, dedektör renginin pembemsi kırmızıdan grimsi mora dönmesi (altın nanopartikül sensörlerin agregasyonu nedeniyle) ile domuz bileşiklerinin saptandığını göstermiştir. Bununla birlikte bu tekniğin altın nanopartikül sensörlerin tespit limitinin (0.1 μ M DNA) gerçek zamanlı PCR'inkinden (0.1–0.001 ng DNA) daha yüksek olması gibi bir dezavantajı da bulunmaktadır.

2012 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada da köfte formülasyonuna ilave edilen domuz etinin görsel tespiti için altın nanopartikül sensörü (biyosensör) kullanılmıştır. Kolorimetrik sensörler olarak 20 nm altın nanopartiküller kullanılmış; sığır ve tavuk etinden elde edilen köftelerdeki domuz taşıyışı görsel olarak tespit edilmiştir (Ali & ark., 2012a). Bu düşük maliyetli

analizle, işlenmiş et ürünlerinde hedef DNA dizilerinin seçici tespiti için hızlı (10 dakikadan az) ve güvenilir bir yöntem geliştirildiği belirtilmiştir. Biyosensör tasarımı PCR primerlerinden daha basit olan daha kısa bir probun gerekmesi ve yöntemin PCR ile mümkün olmayabilen, büyük ölçüde bozulmuş numunelerin analizi için uygulanabilir olduğu ifade edilmiştir. Ali & ark., (2012b) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise işlenmiş et ürünlerindeki tağşişin belirlenebilmesi amacıyla domuz eti eklenmiş sığır eti burgerlerinde altın nanoparçacıklardan elde edilen hibrit bir nanobiyoprob (biyosensör) geliştirilmiştir. %1'e kadar düşük bir oranda domuz eti tespiti sağlayan bu yöntemde, söz konusu prob ile burger formülasyonlarında $\geq\%90$ doğrulukla %1–100 oranında eklenmiş domuz etinin kantitatif olarak saptandığı belirtilmiştir. Yöntemin, uzun DNA dizilerinin daha küçük parçalara bölünmesi nedeniyle PCR yöntemlerinin çalışamayabileceği yüksek düzeyde risk altındaki heterojen numuneleri analiz etmek için ve PCR ile tahmin edilemeyen çok kısa uzunluktaki nükleik asit hedeflerinin belirlenebilmesi için uygulanabilir olduğu ve PCR'a göre daha düşük maliyetli olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmanın, biyosensörlerin helal iddialı et ürünlerindeki domuz sahteciliğinin tespit edilmesi adına umut verici olduğu belirtilmiştir.

Gıda ürünlerinin helalliğinin doğrulanmasında domuz eti tespitinin yanı sıra, etil alkol tespitinde de biyosensörler tercih edilmektedir. Das & Goswami'nin (2013) çalışmasında, alkol biyosensörleri, alkolün kantitatif tespitinde kullanılmıştır. Söz konusu yöntemin pahalı ekipman ve karmaşık ön işlem gerektiren spektrometrik ve kromatografik yöntemlere kıyasla daha yüksek seçiciliğe ve özgüllüğe sahip olduğu belirtilmiştir. Numunede yer alan etanolü tespit etmek için bir altın elektrot

(AuE) üzerinde polietilenimin (PEI) ile kapsüllenmiş çok duvarlı karbon nanotüpler-Nafion R (MWCNTs-Nf) üzerinde alkol oksidazın (AOx) immobilize edilmesiyle bir biyosensör geliştirilmiştir. Benzer şekilde, Kuswandi & ark., (2014), tarafından fermente içeceklerin helal doğrulaması için polianilin film üzerine immobilize edilmiş alkol oksidaz bazlı basit bir görsel olarak etanol biyosensörü kullanılmıştır (Şekil 11). Alkol algılandığında, etanolün asetaldehit ve hidrojen peroksit oksitlendiği enzimatik bir tepkime nedeniyle biyosensörün rengi yeşilden maviye dönmüş ve hidrojen peroksit, PANI filmini daha fazla oksitleyerek renk değişikliğine neden olmuştur. Bu metot, %0.001'lik bir saptama limitine ve 1000'e varan bir kullanım ömrüne sahip olduğundan söz konusu biyosensörlerin, içecekleri ve et ürünlerini analiz etmek için kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu tekniğin düşük maliyetli olduğu, kullanıcı müdahalesi gerektirmediği, kısa süreli ve minimum miktarda numune hazırlığı (örneğin numunenin seyreltilmesi) gerektirdiği ifade edilmiştir.



Şekil 11. Daldırma çubuğu testi olarak AOX/PANI film tabanlı biyosensör tasarımı ve sensörün kullanımı

Çalışma Kapsamında Sunulan Metotların ve Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

Bir ileri gıda analiz metodunun seçimi; kesinlik, doğruluk, tekrarlanabilirlik, hassasiyet, seçicilik, sağlamlık, sapma, tayin limiti, ölçüm limiti, ölçüm aralığı gibi validasyon parametreleri ve resmi onay, hız, işlemin basitliği ve maliyeti gibi faktörlere (Yetim & Kesmen, 2012) bağlıdır;

- Kesinlik (precision): Analitik verilerin güvenilirliğinin tayin edilmesinde kullanılan, ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakınlığını ve ölçüm sonuçlarının ortalama değer etrafındaki dağılımını ifade etmektedir.
- Doğruluk (accuracy): Verilerin güvenilirliğinin bir ölçüm cihazı veya analiz metodu ile elde edilen ölçüm sonucu ile kıyaslanarak gerçek değere yakınlığının belirlenmesidir.
- Tekrarlanabilirlik (reproducibility): Aynı metot kullanılarak farklı analistler ve/veya laboratuvarlar tarafından kesine yakın ortak bir sonuca ulaşabilmeye dayalı, güvenilirliğin göstergesidir.
- Hassasiyet (sensitivity): Analizlerde kullanılacak bir cihaz/yöntemin bir analit konsantrasyonundaki küçük farklılıkları ayırt edebilme kabiliyetidir.
- Seçicilik (selectivity): Kullanılan yöntemin/cihazın, analiti örnek matrisindeki diğer bileşenlerden ayırabilme özelliğidir.
- Sağlamlık (robustness): Ölçüm koşullarındaki (sıcaklık, ekstraksiyon, karıştırma tekniği, karıştırma süresi, pH, reaktiflerin saflığı, numune hacmi gibi) küçük değişimlerin ölçüm sonucuna olan etkisidir.
- Sapma (bias): Analitik yöntemde ölçülen konsantrasyonlar ile gerçek konsantrasyonlar arasındaki farkın ortalamasıdır.
- Tayin limiti (limit of detection, LOD): Analitin belirlenebilen en küçük konsantrasyonudur.

- Ölçüm limiti (limit of quantitation, LOQ): Ölçülebilen en düşük analit miktarıdır.
- Ölçüm aralığı: Ölçüm limiti ile kalibrasyon eğrisinin doğrusallıktan sapma gösterdiği konsantrasyona kadar olan aralıktır.
- Resmi onay: Bağımsız analistler tarafından yaygın olarak kullanılan yöntem veya laboratuvarlara, çeşitli organizasyonlar veya uluslararası kuruluşlar [ISO (International Organization for Standardization/Uluslararası Standartlar Örgütü), AOAC (Association of Official Agricultural Chemists/Resmi Analitik Kimyagerler Derneği) ve TSE (Türk Standardları Enstitüsü) gibi] tarafından onay verilmesidir.
- Hız (speed): Analizin tamamlanması için süredir.
- Basitlik (simplicity): Analizlerin uygulama kolaylığını ifade etmektedir.
- Maliyet: Analizde kullanılacak kimyasal, enstrümental cihaz/ekipman, personel ve zaman faktörlerinin belirlenmesi sonucu ortaya çıkan giderleri ifade etmektedir.

Mevcut çalışmanın önceki bölümlerinde yer verilen, araştırmacılar tarafından sunulan ve literatürde yer alan ileri gıda analiz metotlarının sahip oldukları validasyon parametreleri ve metot seçiminde etkili diğer faktörler göz önüne alındığında;

- PCR'ın düşük miktarda analit tespit edilebilmesi, güvenilir, hassas ve tekrarlanabilir bir metot olması, işlenmiş ve ısıtılmış işlem görmüş numunelerin de analiz edilebilmesi ve spesifik olma gibi avantajlara sahip olduğu; analiz süresinin uzun olması, DNA amplifikasyonu için yüksek verimli ve spesifik primerlerin gerekmesi, ekipman ve reaktif maliyetinin yüksek

olması ve numunelerin sonraki analizler için tekrar kullanılamaması gibi dezavantajlarının bulunduğu,

- Moleküler spektroskopinin ise aynı anda birden fazla analitin tespitinin yapılabilmesi, az miktarda çözücü gerektirmesi, verimlilik, ham ekstrakt analizi, hızlilik, minimal ve pratik numune hazırlığı, spesifiklik, toksik reaktif/çözücü gerektirmeme, yüksek oranda tekrarlanabilirlik gibi avantajlara ve ekipman ve reaktif maliyetinin yüksek olması ve istatistiksel analizlerin kullanılması gerekliliği gibi dezavantajlara sahip olduğu,
- Kromatografik yöntemlerin de çevre dostu, güvenilir, hassas, kesin, spesifik, ve tekrarlanabilir olma ile yüksek doğruluğa ve duyarlılığa sahip olma gibi avantajları bulunurken ekipman ve reaktif maliyetinin yüksek olması ve istatistiksel analizlerin kullanılması gerekliliği gibi dezavantajlara sahip olduğu,
- E-burun metodunun basit örnek hazırlığı, çevre dostu olma ve hızlı sonuç verme, kütle spektrometresi gibi cihazlarla entegrasyon, verimlilik, yüksek doğruluk gibi avantajlara karşın bazı sensörlerin kullanım ömrünün kısa olması, ekipman ve reaktif maliyetinin yüksek olması, yüksek konsantrasyonlu analitlerin analizinde hassasiyetin azalması gibi dezavantajları bulunduğu,
- Biyosensör ile gerçekleştirilen yöntemlerde, analiz sırasında herhangi bir ekipman gerekmemesi, basit bir kullanım sunması, fazla miktarda numuneye ihtiyaç duyulmaması, hızlı sonuç vermesi, örnek ön hazırlığına gerek duyulmaması, PCR ile mümkün olmayabilen büyük ölçüde bozulmuş numunelerin analizinin yapılabilmesi, seçicilik, spesifiklik, yüksek hassasiyet gibi birçok avantajın olduğu; altın nanopartikül kullanıldığında problemlerin her bir analiz öncesi kalibre edilmesi, ekipman ve reaktif maliyetinin yüksek olması, farklı hayvan türleri için özel dedektörlerin

tasarlanması, tür tayininde ilgili et türüne özel problemlerin tasarlanmasının gerekmesi gibi dezavantajların söz konusu olduğu görülmüştür.

Yukarıda sıralanan parametrelerin yanı sıra, analiz yöntemlerinin sektörde kullanım sıklığı da (yaygınlık) metod seçiminde öne çıkan bir diğer etkidir. Mevcut çalışmanın kaleme alındığı tarih itibarıyla OIC/SMIIC 35:2020 standardına göre HAK'tan akredite olan laboratuvarların akreditasyon kapsamlarına bakıldığında gıda ürünlerinde; kromatografik yöntemlerle etil alkol, mikotoksin, pestisit, antibiyotik, boyar madde, katkı maddesi ve dioksin tayini ile yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi, kütle spektrometrisi ile eser element ve ağır metal tayini, PCR ile et/et ürünlerinde tür tayini ve GDO aranması gibi analizlerin yaygın bir biçimde uygulanmakta olduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, helal belgelendirme süreçlerinde önem arz eden helal uygunluk doğrulama analizleri incelenmiştir. Mevcut çalışma kapsamında incelenen helal uygunluk doğrulama analizleri, gıda endüstrisinde yaygın bir biçimde uygulanmakta olan ileri gıda analiz metodları açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen tüm verilerin derlenmesi sonucu mevcut çalışmanın sonuç ve önerileri aşağıda belirtilmiştir;

- Son yıllarda geliştirilen çeşitli analitik teknikler, hem helal belgelendirme süreçlerinde yer bulmakta hem de piyasaya sürülen helal iddialı/belgeli gıda ürünlerinde yaşanan taklit/tağşiş vakalarının tespiti açısından hızlı, doğruluk oranı yüksek, güvenilir, çevre dostu olma gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. PCR, moleküler spektroskopi ve kromatografik yöntemler gıda analizlerinde uzun yıllardır kullanılmakta ve

gıda endüstrisine ve literatüre sayısız fayda sağlamaktadır. Çalışma kapsamında yer verilen tüm analitik teknikler, helal uygunluk doğrulama analizi kapsamında başvurulabilecek önemli metotlardır. Ancak mevcut çalışma kapsamında detaylı olarak incelenen yöntemlerden biri olan biyosensör uygulaması, bildirilen diğer gelişmiş tekniklere kıyasla nispeten düşük maliyete (ekipman alımı sonrası rutin analiz giderleri açısından) ve kısa algılama süresine sahip olması, helal doğrulama yöntemi olarak inovatif ve pratik bir yaklaşım sunması nedenleriyle ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, biyosensörlerin numune analizindeki depolama stabilitesi, helal uygunluk doğrulama analizlerinde tespitin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için daha da geliştirilmelidir.

- Mevcut çalışma kapsamında sunulan, farklı avantajları ile öne çıkan ancak HAK'tan OIC/SMIIC 35:2020 standardına göre akredite laboratuvarlar tarafından henüz uygulanmayan ileri analitik tekniklerin, söz konusu laboratuvarlar tarafından geliştirilerek akreditasyon kapsamına dahil edilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.
- OIC/SMIIC yaklaşımına göre yürütülen helal belgelendirme faaliyetlerinin bir parçası olan helal uygunluk doğrulamasında, uygulanabilir tüm deney/test metotlarının ISO/IEC 17025 ve/veya OIC/SMIIC 35:2020 standartlarına göre akredite bir laboratuvar tarafından gerçekleştiriliyor olması gerekmektedir. Bununla birlikte, HUDK'ların helal belgelendirme programlarında hangi analiz metotlarına yer verdiği de oldukça önemlidir. Sektörde ekseriyetle et ve et ürünlerinde domuz DNA'sı aranması (tür tayini) analizi ve içeceklerde etil alkol tayini gerçekleştirildiği müşahade edilmiştir. Ancak bu yaklaşım, OIC/SMIIC sistemine göre helal olarak belgelendirilecek bir gıda ürününün sağlanması gereken "helal ve tayyip" olma özelliklerinin helal uygunluk

doğrulama analizleri ile teyidi bakımından zaman zaman dar kapsamlı ve yetersiz olabilmektedir. Zira OIC/SMIIC 1:2019 standardında da belirtildiği üzere, helal belgeli gıda üretiminin gerçekleştirildiği tesisin yerleşik bulunduğu ülkedeki yasal mevzuata uygun üretim gerçekleştirildiğinin takibi de yapılmalıdır. Bu gerekliliklerin sağlanması açısından helal gıda ürünlerinin üretimi esnasında gıda güvenliği ve her ürüne spesifik olan kalite karakteristiklerinin belirlenmesi amaçlı yürütülecek analiz çalışmalarının da gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

- Son olarak, ülkemizde bu alanda daha fazla sayıda ve katma değeri olan bilimsel çalışmanın gerçekleştirilmesi önerilmekte ve bu sayede helal belgelendirme sektörünün gelişmesine katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Abd Mutalib, S., Muin, N.M., Abdullah, A., Hassan, O., Mustapha W.A.W., Sani N.A.N. & Maskat, M.Y. (2015). Sensitivity of polymerase chain reaction (PCR) southern hybridization and conventional PCR analysis for halal authentication of gelatin capsules. *LWT- Food Science and Technology*, 63(1), 714-719. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.006>

Aida, A.A., Man, Y.B.C., Wong, C.M.V.L., Raha, A.R. & Son, R. (2005). Analysis of raw meats and fats of pigs using polymerase chain reaction for halal authentication. *Meat Science*, 69(1), 47-52, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.020>

Ali, M. E., Mustafa, S., Hashim, U., Man, Y.B.C. & Foo, K.L. (2012b). Nanobioprobe for the determination of pork adulteration in burger formulations. *Journal of Nanomaterials*, 832387, DOI:10.1155/2012/832387

Ali, M.E., Hashim, U., Mustafa, S., Man, Y.B.C. & Islam, K.N. (2012a). Gold nanoparticle sensor for the visual detection of pork adulteration in meatball formulation. *Journal of Nanomaterials*, 1-7, DOI:10.1155/2012/103607

Aykut, U. & Temiz H. (2006). Biyosensörler ve gıdalarda kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 51-59.

Azilawati, M.I., Hashim, D.M., Jamilah, B. & Amin, I. (2015). RP-HPLC method using 6-aminoquinolyl-n-hydroxysuccinimidyl carbamate incorporated with normalization technique in principal component analysis to differentiate the bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 172, 368-376, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.093>

Chuah, L., He, X.B., Effarızah, M.E., Syahariza, Z.A., Shamila-Syuhada, A.K. & Rusul, G. (2016). Mislabelling of beef and poultry products sold in Malaysia. *Food Control*, 62, 157-164, DOI:10.1016/j.foodcont.2015.10.030.

Çebi, N. (2018). Helal gıda kapsamında yumuşak şekerlemelerde jelatin kökeninin tespitinde spektroskopik ve kromatografik yöntemlerin geliştirilmesi ve metot validasyonu (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Dahimi, O., Hassan, M.S., Rahim, A.A. & Abdulkarim, S.M. (2014). Differentiation of lard from other edible fats by gas chromatography-flame ionisation detector (GC-FID) and chemometrics. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 27-31, <https://doi.org/10.14499/jfps>

Das, M. & Goswami, P. (2013). Direct electrochemistry of alcohol oxidase using multiwalled carbon nanotube as electroactive matrix for biosensor application. *Bioelectrochemistry*, 89, 19-25, <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2012.08.007>

Di Rosa, A.R., Leone, F., Cheli, F. & Chiofalo, V. (2017). Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment -a review. *Journal of Food Engineering*, 210, 62-75, DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.04.024

DinarStandard. (2023). *State of the global Islamic economy report*, 2023/2024. (19/11/2024 tarihinde <https://www.dinarstandard.com/post/state-of-the-global-islamic-economy-report-2023> adresinden ulaşılmıştır).

Eser, B. & Dinçel, A.S. (2018). Kromatografiye giriş, yüksek performanslı sıvı kromatografi kullanımında basit ipuçları. *Journal of Health Services and Education*, 2(2): 51-57, <https://doi.org/10.26567/JOHSE.2018250150>

Fadzillah, N.A., Rohman, A., Salleh, R.A., Amin, I., Shuhaimi, M., Farahwahida, M.Y., Rashidi, O., Aizat, M. & Khatib, A. (2017). Authentication of butter from lard adulteration using high-resolution of nuclear magnetic resonance spectroscopy and high-performance liquid chromatography. *International Journal of Food Properties*, 20(9), 2147-2156, <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1233428>

Granato, D., Putnik, P., Kovacevic, D.B., Santos, J.S., Calado, V., Rocha, R.S., Da Cruz, A.G., Jarvis, B., Ye Rodionova, O. & Pomerantsev, A. (2018). Trends in chemometrics: food authentication, microbiology, and effects of processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 663-667, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12341>

Güler, P. (2022). *Helal gıda analiz yöntemlerinin ve tüketici eğilimlerinin araştırılması: Malatya örneği* (Yüksek Lisans Tezi), İnönü Üniversitesi, Malatya.

Huang, M.C., Chen, H.C., Fu, S.C. & Ding, W.H. (2013). Determination of volatile N-nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction coupled with dispersive micro solid-phase extraction and gas chromatography - Chemical ionisation mass spectrometry. *Food Chemistry*, 138(1), 227-233, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.119>

Ishaq, A., Rahman, U., Sahar, A., Perveen, R., Deering, A.J., Khalil, A.A., Aadil, R.M., Hafeez, M.A., Khaliq, A. & Siddique, U.

(2020). Potentiality of analytical approaches to determine gelatin authenticity in food systems: a review. *LWT*, 121, 108968, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108968>

Jorfi, R., Mustafa, S., Man, Y.B.C., Hashim, D. B.M., Sazili, A.Q., Farjam, A. S., Nateghi, L. & Kashiani, P. (2012). Differentiation of pork from beef, chicken, mutton and chevon according to their primary amino acids content for halal authentication. *African Journal of Biotechnology*, 11(32), 8160-8166, DOI:10.5897/AJB11.3777

Kuswandi, B., Irmawati, T., Hidayat, M.A., Jayus & Ahmad, M. (2014). A simple visual ethanol biosensor based on alcohol oxidase immobilized onto polyaniline film for halal verification of fermented beverage samples. *Sensors*, 14, 2135-2149, DOI: 10.3390/s140202135

Lehotay, S.J. & Hajšlová, J. (2002). Application of gas chromatography in food analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 21(9-10), 686-697, [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(02\)00805-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00805-1)

Mariod, A.A. & Fadul, H. (2013). Gelatin, source, extraction and industrial applications. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(2), 135-147.

Murugaiah, C., Noor, Z. M., Mastakim, M., Bilung, L. M., Selamat, J. & Radu, S. (2009). Meat species identification and halal authentication analysis using mitochondrial DNA. *Meat Science*, 83(1), 57-61, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.015>

Ng, P.C., Ruslan, N.A.S.A., Chin, L.X., Ahmad, M., Hanifah, S.A., Abdullah, Z. & Khor, S.M. (2022). Recent advances in halal

food authentication: challenges and strategies. *Journal of Food Science*, 87(1), 8-35, <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15998>

Nurani, L.H., Riswanto, F.D.O., Windarsih, A., Edityaningrum, C.A., Guntarti, A. & Rohman, A. (2022). Use of chromatographic-based techniques and chemometrics for halal authentication of food products: A Review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1399-1416, <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2082468>

Nurjuliana, M., Man, Y.B.M., Hashim, D.M. & Mohamed, A.K.S. (2011). Rapid identification of pork for halal authentication using the electronic nose and gas chromatography mass spectrometer with headspace analyzer. *Meat Science*, 88(4), 638-644, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.022>.

Park, S., Kim, J.C., Lee, H. S., Jeong, S.W. & Shim, Y.S. (2016). Determination of five alcohol compounds in fermented Korean foods via simple liquid extraction with dimethyl-sulfoxide followed by gas chromatography-mass spectrometry for halal food certification. *LWT*, 74, 563-570, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.030>

Park, S.W., Lee, S.J., Sim, Y.S., Choi, J.Y., Park, E.Y. & Noh, B.S. (2017). Analysis of ethanol in soy sauce using electronic nose for halal food certification. *Food Science and Biotechnology*, 26(2), 311-317, DOI:10.1007/s10068-017-0042-1

Peters, Y., Schrauwen, R.W.M., Tan, A.C., Bogers, S.K., De Jong, B. & Siersema, P.D. (2020). Detection of Barrett's Oesophagus through exhaled breath using an electronic nose device. *Gut*, 69, 1169-1172, <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-320273>

Premanandh, J. & Bin Salem, S. (2017). Progress and challenges associated with halal authentication of consumer packaged goods. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 97(14), 4672-4678, <https://doi.org/10.1002/jsfa.8481>

Rohman, A. & Windarsih, A. (2020). The application of molecular spectroscopy in combination with chemometrics for halal authentication analysis: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 5155, <https://doi.org/10.3390/ijms21145155>

Rohman, A., Sisindari, Erwanto, Y. & Man, Y.B.C. (2011). Analysis of pork adulteration in beef meatball using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, *Meat Science*, 88(1), 91–95, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.007>

Sarno, R., Triyana, K., Sabilla, S. I., Wijaya, D. R., Sunaryono, D. & Fatichah, C. (2020). Detecting pork adulteration in beef for halal authentication using an optimized electronic nose system. *Ieee Access*, 8, 221700–221711, DOI: 10.1109/access.2020.3043394

Subara, D. & Jaswir, I. (2018). Gold Nanoparticles: synthesis and application for halal authentication in meat and meat products. *International Journal of Advanced Science Engineering and Information Technology*, 8, 1633-1641, <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.4-2.7055>

Sultana, S., Hossain, M.A.M., Zaidul, I.S.M. & Ali, M.E. (2018). Multiplex PCR to discriminate bovine, porcine, and fish DNA in gelatin and confectionery products. *LWT*, 92, 169-176, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.019>

Suparman, S. (2015). The use of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and gas chromatography mass spectroscopy (GCMS) for halal authentication in imported chocolate with various variants. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 3(1), <https://doi.org/10.14499/jfps>

The Standards and Metrology Institute for Islamic Countries, (2019). OIC/SMIIC 1, General requirements for halal food. İstanbul, Türkiye.

The Standards and Metrology Institute for Islamic Countries, (2019). OIC/SMIIC 2, Conformity assessment - requirements for bodies providing halal certification. İstanbul, Türkiye.

Tüylek, Z. (2021). Biyoteknolojide biyosensör ve biyoçip uygulamaları. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(3), 468-490, <https://doi.org/10.38001/ijlsb.876231>

Von Barga, C., Brockmeyer, J. & Humpf, H.U. (2014). Meat authentication: a new HPLC–MS/MS based method for the fast and sensitive detection of horse and pork in highly processed food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(39), 9428-9435, DOI:10.1021/jf503468t

Wang, Q., Li, L., Ding, W., Zhang, D., Wang, J., Reed, K. & Zhang, B. (2019). Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometer. *Food Control*, 98, 431-438, DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.11.038

Xu, L., Cai, C.B., Cui, H.F., Ye, Z.H. & Yu, X.P. (2012). Rapid discrimination of pork in halal and non-halal Chinese ham sausages by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and

chemometrics. *Meat Science*, 92(4), 506-510.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.019>

Yetim, H. & Kesmen, Z. (2012). *Gıda analizleri*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Yayınları.

BÖLÜM IV

Gıda Atıklarını Katma Değeri Yüksek Ürünlere Dönüştürmede Önemli Aktörler, Enzimler: Döngüsel Ekonomi ve Yeşil Kimya Çerçevesinde

**Nurcan DEDEOĞLU¹
Pırl TEKİN²**

Giriş

Dünya, artan nüfus, artan küresel rekabet ve sürdürülebilir olmayan kaynak yönetiminin etkisiyle, doğal kaynaklarının tükenme sorunuyla karşı karşıyadır. Bu durumun etkisiyle hem çevresel hem de ekonomik zorluklar gitgide daha da derinleşmektedir. İklim değişikliği ise, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki etkileri ve önümüzdeki yıllarda beklenen nüfus artışı eğilimleriyle birlikte, gıda üretimini önemli bir konu haline getirmektedir (Imbert, 2017). Bu

¹ Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4008-2587>, ndedeoglu@atu.edu.tr

² Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2326-7571>, ptekin@atu.edu.tr

faktörlerin de etkisiyle tarım ve çiftçilik sistemleri üzerinde de büyük bir baskı oluşmaktadır. Tüm bunların etkisiyle gıda üretimi gibi temel sektörlerde acil çözümler sunulmasını gerektiren kritik bir sorun ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan gıda israfının önlenmesi ve en aza indirgenmesi, önemli bir eylem olarak görülmektedir. Gıda israfı, ayrıca, ciddi oranda çevre kirliliğine neden olmaktadır; çünkü gıda tedarik zincirinin tüm aşamalarında kullanılan kaynakların – toprak, gübre, tatlı su, enerji gibi- boşa harcanmasına sebep olmaktadır (FAO2013, 2013). Bu etkisinin yanı sıra ciddi seviyelerde sera gazı emisyonlarına, özellikle de gıda atıkları depolama alanlarına ulaştığında metan gazı salınımına neden olmaktadır. Gıda israfının, ayrıca, gıda güvenliği ile ilgili doğrudan bağlantılı olan olumsuz sosyal etkileri de bildirilmiştir. Çevresel ve sosyal etkilerinin yanı sıra gıda israfı, tüketiciler ve üreticiler ile birlikte gıda atığı yönetiminden sorumlu kamu kuruluşları için de büyük bir ekonomik maliyet oluşturmaktadır (Imbert, 2017).

Ekonomik zorlukları ile birlikte endüstride kullanılan kimyasallar da önemli bir sorundur, çünkü gıda zincirine girerek hayvanlar ve insanlar için birçok olumsuz duruma sebep olmaktadır. Bu sebeple, çevre dostu, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen kimyasal geliştirilmesi ve kullanımı önem kazanmaktadır. Bu açıdan Yeşil kimya (YK), kimyasalların planlanması, üretimi ve uygulanması boyunca tehlikeli maddelerin oluşumunu ve kullanımını azaltmak veya ortadan kaldırmak için kimyasal uzmanlık ve bilginin kullanılmasına odaklanır. Yeşil kimya, atıkların önlenmesi ve azaltılmasında ürünlerin üretim süreçlerini değiştirerek ve verimli hale getirerek döngüsel ekonomiye doğru ilerlemek için bir strateji olarak düşünülebilir(Ncube, & ark., 2023).

Belediye atıklarından elde edilen organik atık fraksiyonları, tarımsal gıda atıkları veya mahsuller gibi farklı atık türleri değerli ürünlere dönüştürülebilir. Zirai-gıda atıkları, proteinler, karbonhidratlar, lipidler ve diğer önemli mineraller için önemli bir kaynaktır ve bu bileşenler, biyorefineri teknolojilerinin geliştirilmesi ve döngüsel ekonominin (DE) önemli unsurları olarak sürdürülebilir iş modelleriyle katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmektedir. Mikroorganizmalarla biyokonversiyon ve enzim teknolojisi gibi yenilikçi teknolojilerin, nanoteknoloji, metabolik mühendislik ve multi-omik platformlar gibi yenilikçi yöntemlerle birleştirilmesi, atıkların değerlendirilmesi sürecine yönelik yeni ve önemli perspektifler sunmaktadır. Lignoselüloolitik enzimler, pektinazlar ve proteazlar, tarım-gıda atıklarının işlenmesinde temel katalizörler olarak kullanılmakta ve bu enzimlerin yerinde üretimi, tarım-sanayi ülkeleri için yakın gelecekte bir trend olabilir. Tarım-gıda atıklarını dönüştürmenin bir diğer yöntemi ise fungal veya bakteriyel kültürlerden elde edilen aerobik ya da anaerobik mikrobiyal süreçlerdir; bu süreçler, atıklardan enzim üretimi için kritik bir öneme sahiptir(Rojas, Zapata, & Ruiz-Tirado, 2022). Endüstriyel biyokatalizörler olarak enzimler, eko-sürdürülebilirlik ve proses verimliliği açısından geleneksel kimyasal proseslere kıyasla benzersiz avantajlar sunmaktadır(Bilal & Iqbal, 2019).

Bu bölümde gıda atıklarının çevresel, sosyal etkisini en aza indirmek amacıyla değerlendirilmesinde enzimlerin kullanılmasını yeşil kimya ve döngüsel ekonomi kapsamında tartışacağız.

1. Biyo-tabanlı Döngüsel Ekonomi ve Yeşil Kimya

Yirminci yüzyılda tüketim toplumunun temelini oluşturan doğrusal "al-üret-tüket-at" modeli ve "planlı eskitme" yaklaşımı, günümüz toplumunun karşı karşıya olduğu büyük küresel sorunların çözümü için yeterli bir yaklaşım sunmamaktadır(Sheldon, 2020). Üretim ve tüketime doğrusal yaklaşım, iklim değişikliği ve çevre kirliliği nedeniyle ekosistemlerin bozulmasına neden olmaktadır. Başka bir deyişle, doğrusal ekonomi sisteminin devam etmesi, ekonomik refahı sürdürmek için kısıtlı olmasının yanı sıra insanlar ve diğer tüm hayvan türleri için hayati yaşam koşullarını sağlamak için yeterli değildir(Gedik, 2020). Tasarım gereği onarıcı veya yenileyici olan döngüsel ekonomi, doğal kaynakların korunmasını ve ürünlerin geri dönüşümünün ve yeniden kullanımının doğal olarak kolaylaştırıldığı şekilde tasarlanarak atıkların azaltılmasını veya tercihen ortadan kaldırılmasını destekler.(Sheldon, 2020) Döngüsel ekonomi modeline dayanan sürdürülebilir kalkınma, küresel gündemde giderek daha merkezi bir rol kazanmıştır. Kaynak verimliliği, atık azaltma, geri dönüşüm ve değerlendirme üzerine kurulu olan döngüsel ekonomi, "Gıda israfı döngüsel ekonomide önemli bir alandır" (EC 2017, 2017) der ve gıda israfını kullanıma sokulabilen az kullanılan bir kaynak olarak değerlendirir. Döngüsel ekonomi daha az kaynakla daha fazla istihdam yaratır ve sürdürülebilir tüketim ve üretimle güçlü bir şekilde ilişkilidir (Imbert, 2017).

Yenilenebilir hammaddeler kullanılarak üretilen, yeniden kullanım, geri dönüşüm veya geri kazanım için tasarlanan ve minimum enerji gereksinimlerini karşılayarak yeni ürünlerin üretimine temel teşkil eden yeşil ve sürdürülebilir kimyanın ise, döngüsel ekonominin (DE) yeni ürün tasarımı konusundaki

ekonomik potansiyelini ortaya çıkarmanın yanı sıra, atık yönetimi sorunlarının çözümünde de kilit bir rol oynayacağı düşünülmektedir (Ncube & ark., 2023). Genel olarak, DE ve YK'nin (1) kaynak kullanımının daha iyi planlanması, (2) fosil enerjilerin ve maddi kaynakların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi, (3) yeniden kullanım ve geri dönüşüm ve son olarak (4) döngüsel yönetim yoluyla yeni ve yenilikçi iş fırsatları sunması beklenmektedir(Ncube &ark., 2023).

Biyokütle kullanımı, bu kapsamda çeşitli potansiyel çözümler sunar. Bu nedenle, döngüsel ekonomi kavramını kullanarak yeşil kimyasallar geliştirmek ve biyoekonomi pazarlarına katkıda bulunmak için çeşitli diğer atık malzemelere ihtiyacımız var (Mishra, & ark., 2023).

Öte yandan, tarımdan doğrudan ve dolaylı olarak elde edilen büyük miktardaki gıda atıklarının tüm gıda zinciri boyunca üretilen faydalı biyo-bazlı malzemeler içerdiğini biliyoruz. Bu gıda atığının ve yan ürünlerinin önlenmesi, sadece dünyanın biyo-ekonomisine katkıda bulunmakla kalmaz aynı zamanda çevre sorunlarının azaltılmasına da yardımcı olur. Bu ise gıda atığı malzemelerinin değerli ürünlere dönüştürülmesiyle mümkün olabilir (Capanoglu, Nemli, & Tomas-Barberan, 2022) .

Meyve ve sebzelerden elde edilen katma değeri yüksek atıkları kullanmak, gıda sürdürülebilirliğindeki en karmaşık ve temel görevdir. Bu düşük maliyetli atık malzemeler, lifler, enzimler, polisakkaritler, organik asit vb. açısından zengin oldukları için yüksek değere sahiptir. Sosyoekonomik açıdan bakıldığında, bu biyo-atık malzemeler kimya endüstrilerinde çok düşük maliyetle hammadde olarak kullanılmaktadır. Gıda atıkları, ayrıca

antioksidanlar, mikrobiyal yağ, biyogübre ve biyogaz, enzimler, biyoplastikler, pektin, biyodizel gibi birçok ürüne dönüştürülmekte ve biyoekonomiye büyük katkı sağlamaktadır.

Bu noktada, biyoekonomik pazardaki ürünlerin değerini göz önünde bulundurarak döngüsel ekonomiye daha fazla odaklanmamız gerekiyor. Bu amaçla, döngüsel biyoekonominin sürdürülebilir gelişimi, gıda atık malzemelerinin değerlendirilmesi için mikrodalga, enzim, ultrases, yüksek basınç, vurgulu elektrik alan, ohmik ve süperkritik akışkan ekstraksiyon vb. yeşil ekstraksiyon tekniklerin dahil edilmesiyle mümkün olan en umut verici alternatiftir (Mishra & ark., 2023).

2. Yeşil ve Sürdürülebilir Biyokatalizler: Enzimler

Biyokataliz, yenilenebilir hammaddelerden ürün oluşumu için kullanılmasının ötesinde, sürdürülebilir üretimi destekleyen önemli bir yeşil kimya teknolojisi olarak öne çıkmaktadır. Biyokataliz, yalnızca üretimi kolay değil, aynı zamanda biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir olan doğal katalizörler olan enzimleri kullanır. Giderek daha fazla işletme, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak amacıyla biyokatalizör olarak enzimlerin geliştirilmesi ve kullanımı üzerinde yoğunlaşmaktadır.(Ncube & ark., 2023)

Enzimler, endüstriyel süreçlerde yaygın bir şekilde kullanılan, suda çözünebilen katalitik aktivitesi olan proteinlerdir. Enzimler, kimyasal reaksiyonları olağanüstü özgüllük, yüksek bölgesel (regio-) ve stereo-selektivite ile oldukça ılıman çevresel koşullar altında gerçekleştirebilme yeteneği sayesinde daha yeşil, sürdürülebilir ve çevre dostu kimyasal süreçlerin oluşturulmasına katkıda bulunur (Bilal & Iqbal, 2019).

Dünya üzerindeki tüm canlı organizmalar, bitkiler, hayvanlar, mikroorganizmalar ve insanlar dahil, enzimlerin yardımı olmaksızın mevcut şekilde gelişemezdi. Bu katalitik proteinler, dünyanın varoluşundan bu yana, yaşamın çok çeşitli koşullara uyum sağlanmasına olanak tanımıştır. Bu koşullar arasında kapsamlı buzul çağları, küresel ısınma ve çevreye giren yeni kimyasallar, örneğin plastikler sayılabilir. Enzimlerin bu farklı koşullara uyum sağlama yeteneği, yani dikkat çekici çok yönlülüğü, onların sera gazı emisyonlarını azaltmada gerçekçi ve önemli bir rol üstlenmesini de mümkün kılar. Enzimlerin ayrıca iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadelede de yardımcı olabileceği bilinmektedir (Molina-Espeja & ark., 2023).

Peki enzimlerin iklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadeleye olan katkısı ne kadar büyük olabilir?

Bu katkıyı niceliksel olarak değerlendirmeden önce, enzimlerin endüstriyel süreçler ve ürünler üzerinde sağladığı çeşitli faydalar göz önünde bulundurulmalıdır: (1) daha düşük enerji ayak izi; (2) atık üretiminin ve kimyasal tüketiminin azaltılması; (3) asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon ve enerji kullanımı gibi çeşitli çevresel etki kategorilerinin azaltılması; (4) proses koşullarının daha güvenli hale getirilmesi ve (5) yenilenebilir hammaddelerin kullanımı gibi birçok avantaj.

Son 15 yılda gerçekleştirilen en kapsamlı karşılaştırmalı çevresel değerlendirmeler, enzimatik süreçlerin geleneksel kimyasal süreçler yerine uygulanmasının genellikle küresel ısınmaya olan katkıları azalttığını ve ürün türüne bağlı olarak ürün başına 155 kg CO₂'e kadar tasarruf sağladığını ortaya koymuştur (Jegannathan & Nielsen, 2013). Yakın dönemde yapılan tahminler, enzimlerin iklim

değişikliğiyle mücadele potansiyelinin 2030 yılı itibarıyla yılda 1 ila 2,5 milyar ton CO₂ emisyonuna kadar ulaşabileceğini öne sürmektedir. Bu azalma, dünya genelindeki tüm motorlu araçların (yaklaşık 1,4 milyar olduğu tahmin edilmektedir) yıllık emisyonlarının %16 ila %40'ına eşdeğer bir değeri ifade etmektedir. Açıkça görülmektedir ki, enzimler, gezegenimizi yeşil dönüşümü gerçekleştirecek küresel bir güç merkezine dönüştürme potansiyeline sahiptir (Molina-Espeja & ark., 2023).

Enzimler biyoyumlu (hatta bazen yenilebilir), biyolojik olarak parçalanabilir ve temel olarak zararsız biyomoleküllerdir. Ayrıca, kolayca temin edilebilir ve nadir bulunan değerli metallerden türetilen katalizörlerin uzun vadeli ticari sürdürülebilirliğini baltalayan büyük fiyat dalgalanmalarına maruz kalmaz ve ayrıca düşük maliyetli yenilenebilir kaynaklardan da elde edilebilirler (Truppo, 2017). Bunun yanı sıra, asil metallerin son ürünlerden düzenleyici gereklilikleri karşılayacak seviyelere kadar iz miktarlarda uzaklaştırılması gibi yüksek maliyetli işlemleri de ortadan kaldırır.(Sheldon, 2020)

Son on yılda, enzimlerin avantajlı özellikleri sebebiyle kullanım alanları, özellikle biyoyakıt üretimi, gıda modifikasyonu, kağıt ve hamur, tekstil, çamaşır deterjanı formülasyonları, biyomedikal kozmetik ve farmasötik araştırmalar ile tarımsal-endüstriyel atık dönüşümü gibi alanlarda önemli ölçüde artmıştır (Gessesse & ark., 2011; Nargotra & ark., 2024) . Gıda endüstrisi, mahsul ve hayvansal ürün işlemeden kaynaklanan gıda atıkları ve tarımsal çıktılar enzimlerin kullanılmasıyla katma değerli malzemelere dönüştürülebilir. Geleneksel kimyasal katalizörlere alternatif olarak yeni teknolojik biyoproseslerin geliştirilmesine yönelik artan biyokataliz talebi, benzersiz biyokatalitik ve ekonomik

özelliklere sahip tasarlanmış enzimlere olan ihtiyacı büyük ölçüde artırmıştır.

Yukarıda bahsettiğimiz üzere enzimlerin yeşil kimya ve sürdürülebilir döngüsel biyo-ekonomi açısından oldukça önemli olduğu ortada. Ancak aklımıza şu soru gelebilir:

Eğer biyokataliz (enzimler) bu kadar çekiciyse, neden son 50 yılda endüstriyel alanda organik sentez yerine enzimler yaygın bir şekilde uygulanmamıştır?

Bu sorunun en önemli sebebi olarak birçok enzim alt sınıfının ticari olarak sınırlı bulunabilirliği ve çoğu enzimin endüstriyel organik sentezin genellikle zorlu koşullarında düşük performans göstermesi öne sürülebilir. Bu nedenle, 1980'ler ve 1990'larda uygulamalar genellikle diğer endüstrilerde, örneğin çamaşır deterjanları ve gıda işleme sektörlerinde kullanılan hidrolazlar – özellikle lipazlar ve proteazlar – ve bazı D- ve L-amino asitlerin üretiminde kullanılan amidazlarla sınırlıydı (Sheldon & Brady, 2019). Endüstriyel süreçlerde, substrat ve ürün konsantrasyonları doğada genellikle karşılaşılan seviyelerin çok üzerindedir ve enzimler, doğal substratlarından yapısal olarak çok farklı moleküllerle karşılaşmaktadır. Dahası, substratlar ve ürünler sıklıkla hidrofobiktir ve enzimlerin, substrat çözünürlüğünü artırmak amacıyla eklenen organik çözücülere karşı dayanıklı olmaları gerekir (Sheldon, 2020).

Özellikle enzimlerin doğal kaynaklardan elde edilen versiyonları genellikle ideal çalışma koşullarında (örneğin belirli sıcaklık, pH ve çözücü özellikleri) oldukça verimli olmakla birlikte, bu koşulların dışında işlevsellikleri sınırlıdır. Doğal olmayan endüstriyel biyoproses koşullarında (düşük su aktivitesi, aşırı pH,

yüksek sıcaklık vb.), enzimlerin katalitik aktiviteleri büyük ölçüde azalır. Bu bağlamda, enzimatik biyokatalizin potansiyeli henüz tam anlamıyla keşfedilememiş olup, bu sınırlamaları aşacak yeni ve etkili yaklaşımların geliştirilmesi, bu alandaki araştırmacılar ve bilim dünyası için büyük bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır (Bilal & Iqbal, 2019, 2020). Bu durumun gelişmesi ise, yeni enzim keşiflerinde (daha fazla enzim) ve enzim performansında (daha iyi enzimler) yaşanan önemli gelişmelerle mümkün olmuştur.

2.1 (Meta)genomik ve Enzim Keşfi

Yeni enzimlerin keşfi, enzim evrimini, enzim yapısını, işlevini, katalizin temel mekanizmalarını ve yeni protein kıvrımlarının tanımlanmasını algılamaya yardımcı olduğu için değerlidir (Patel & ark., 2022). Ancak tarihsel olarak, enzim keşfi, çevresel örneklerden mikrobiyal kültürler hazırlamayı içeriyordu ve bu süreç, mikroorganizmaların %99'unun 'kültüre edilemez' olmasından dolayı ciddi şekilde engelleniyordu. Ancak, bu durum, genomları dizileme ve anotasyon (bireysel genleri ve fonksiyonlarını belirleme) işlemi olan (meta)genomiklerin ortaya çıkmasıyla kalıcı olarak değişti ve çevresel örneklerden elde edilen genetik materyallerdeki çok sayıda organizmanın genomlarının belirlenmesini mümkün kıldı (Land & ark., 2015). İlk iki bakteriyel genom 1995 yılında dizilendi ve ardından, yeni nesil sıralama (NGS) teknolojileri sayesinde, genom sıralama maliyetlerini ciddi ölçüde düşürdü.

2014 yılına geldiğimizde yaklaşık 30.000 bakteriyel genom dizilenmiş durumdaydı. Halka açık veri tabanlarında depolanan ve hızla genişleyen bu genomik veriler, mevcut işlevi bilinen enzimlerle dizi benzerliğini aramak için in silico yöntemlerle

taranabilir ve bu sayede sayısız yeni enzim tanımlanabilir. Günümüzde, kamuya açık veri tabanlarından (meta)genom biyoprospeksiyonuyla ilgi çekici bir gen dizisi tanımlamak, çevrimiçi olarak bu diziyi sentezlemek ve *Saccharomyces cerevisiae* veya *Escherichia coli* gibi uygun bir mikrobiyal konağa klonlama için hazır bir plazmid almak iki haftadan kısa bir sürede mümkündür.(Prayogo & ark., 2020) Geçmişte mikrobiyal çeşitliliğin yalnızca çok küçük bir kısmına erişilmişti; bu durum, endüstriyel uygulamalar için keşfedilmeyi bekleyen birçok arzu edilen enzim aktivitesinin mevcut olduğunu göstermektedir (Sheldon, 2020). Bu bağlamda, metagenomik tabanlı tarama protokollerinin kullanımı kritik öneme sahiptir(Madhavan, & ark., 2017).

2.2 Daha İyi Enzimler İçin Yönlendirilmiş Evrim

Protein mühendisliği, doğal enzimlerin biyokatalizör olarak sınırlı kullanımlarının üstesinden gelmek için en önemli yöntemdir. 1990'larda yapısal ve mekanik bilgilere dayanan sözde rasyonel tasarım stratejisi, in vitro rastgele mutagenesi protokolleri ile değiştirildi (Sheldon, 2020). Rastgele mutagenesi, tarama, seçim ve hesaplamalı tasarım alanındaki son gelişmeler, yönlendirilmiş evrim deneyleriyle güçlü seçim baskısı altında enzimlerin çok yönlülüğünü ve hızlı gelişimini artırmıştır.(Kumar & Singh, 2013)

Şüphesiz, yönlendirilmiş evrim tekniklerinin, ciddi bir şekilde geliştirilmiş performansa sahip yüksek mühendislik ürünü enzimler üretmek için kullanılması, biyokatalizin endüstriyel alanda yaygın kullanımına zemin hazırlamıştır.

Yönlendirilmiş evrim (YE) sıklıkla proteinleri yüksek verimli bir şekilde tasarlamak için uygulanır ve ayrıntılı yapısal bilgiye olan

ihtiyacı ortadan kaldırır. Ancak, yapısal veriler ve mekanizmaya göre yönlendirilen bilgiler yarı rasyonel yaklaşımlarda mutagenezi yönlendirmede etkili olabilir (Kumar & Singh, 2013) Yönlendirilmiş bir evrim deneyinde, yararlı özellikler geliştirmek amacıyla ilgi duyulan bir proteine seçici bir baskı uygulanır. Endüstriyel uygulamalar için ilgi çekici olan biyokatalizörlerin aktivitesini, termostabilitesini, çözünürlüğünü, çözücü toleransını ve pH adaptasyonunu artırmak için yaygın olarak kullanılmıştır (Joho & ark., 2024)

2.3 Döngüsel Ekonomi İçin Enzim İmmobilizasyonu

Biyokatalitik süreçleri iki sınıfta inceleyebiliriz: (i) büyüyen mikrobiyal hücrelerin süspansiyonlarını içeren, yani fermantasyonlar ve (ii) belirli enzimi içeren veya izole edilmiş enzimi içeren süreçler. İlk türün avantajı, ko-faktörlerin ve taze enzimin, hücrenin kendi mekanizmasıyla gerektiğinde otomatik olarak yeniden oluşturulmasıdır; ancak dezavantajı, ürünün ortama verimli bir şekilde salınması ve yaşayan hücreler için toksik olmaması gerekliliğidir. Öte yandan izole (serbest) enzim bütün mikrobiyal hücrelerde bulunabilecek diğer enzimlerle rekabet içinde olmayacaktır, ki bu önemli bir avantaj, ancak izolasyon ve nihai saflaştırma maliyetlerinin sürece eklenmesi onu daha pahalı hale getirmektedir.

Enzimler, sürdürülebilir kalkınma için, örneğin yeşil kimya, yenilenebilir kaynaklardan temiz yakıt üretimi, doğal kaynakların daha verimli kullanımı, gıda kimyası ve son derece hassas biyosensörlerin geliştirilmesi gibi alanlarda mükemmel endüstriyel katalizörlerdir. Ancak, enzimlerin endüstriyel amaçlar için kullanımında bazı sınırlamalar bulunmaktadır: kararsız olmaları,

çözünür olmaları, özellikle metal iyonları tarafından inhibisyona uğramaları ve doğal olmayan substratlar üzerinde düşük seçiciliğe sahip olmaları gibi. Bu nedenle, çoğu enzimin endüstriyel uygulamalardan önce önemli ölçüde iyileştirilmesi gerekmektedir. Enzimler, fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak immobilize edilebilir ve böylece uzun süreler boyunca yeniden kullanılabilir hale gelirler. Gerekli immobilizasyon tekniklerinin uygulanması, enzimlerin çeşitli fizikokimyasal özelliklerini iyileştirir ve onları endüstriyel katalizörler olarak kullanma olanaklarını artırır (Bilal & Iqbal, 2019).

Birçok avantajına rağmen, enzimlerin endüstriyel uygulamaları, genellikle endüstriyel sentezdeki aşırı koşullar altında üçüncül yapısının kaybı (denatürasyon) nedeniyle uzun vadeli operasyonel stabilite eksikliği nedeniyle engellenmektedir. Ayrıca, serbest enzimler, su içinde çözünebilen, homojen katalizörler olduklarından, pahalı membran sistemleri kullanılmadığı sürece geri kazanımları zordur (tek kullanımlık) ve bu da onların sürekli işleme sistemlerinde kullanımını sınırlandırır. Serbest enzimler ayrıca, hidrofobik ortamlarda veya izoelektrik noktasına yakın bir pH 'da sulu çözeltilerde agregasyona uğrayabilir, bu durum da difüzyon sınırlamalarına ve enzim aktivitesinin azalmasına yol açar.

Yukarıda belirtilen sorunlar, enzimin suda çözünmeyen, katı heterojen bir katalizör olarak immobilizasyonu ile giderilebilir ve bu sayede filtrasyon veya santrifüjleme yoluyla kolayca geri kazanılabilir. Bu durum enzimin tekrar kullanılabilirliğini ve ürün işleme aşamalarını da kolaylaştırır. Çünkü immobilize enzim biyolojik zarları kolayca geçemez, bu nedenle düşük oranda veya hiç alerjenik değildir. Ayrıca, immobilizasyon, enzimin üçüncül yapısının değişmesini baskılar ve bu da daha geniş bir reaksiyon

koşulları yelpazesinde kullanılabilen daha stabil bir biyokatalizör sağlar, buna polar olmayan organik çözücüler de dahildir. Bir diğer avantajı, immobilize enzimlerin sürekli akış işlemlerinde, örneğin dolgu yatağında veya tıkanmış akış reaktöründe kullanılmaya uygun olmasıdır. Immobilizasyonun bir sınırlaması, genellikle aktivite kaybına yol açmasıdır, bu da çoğunlukla taşıyıcıyla yanlış bir konformasyonda etkileşime girmesi nedeniyle olur ve elbette taşıyıcının ek maliyeti de dikkate alınmalıdır. Tüm bu faktörler, immobilize enzimin geri dönüştürülme kapasitesi ile dengelenir ve genellikle endüstriyel uygunluk değerlendirmesi, finansal denge noktasına ulaşmak için gereken minimum döngü sayısının hesaplamasını gerektirir. (Sheldon, Basso, & Brady, 2021) Ancak, şunu belirtmekte fayda vardır ki, immobilizasyon her zaman endüstriyel ölçekte çözüm değildir(Bilal & Iqbal, 2019)

Temel olarak, tüm mikrobiyal hücreleri veya izole edilmiş enzimlerin immobilizasyonu, uygun bir taşıyıcıya adsorpsiyon, kovalent bağlanma veya çapraz bağlama yoluyla gerçekleştirilir. Her bir yöntemde de serbest enzim, suda çözünen homojen bir katalizörden katı heterojen bir katalizöre dönüştürülür. Dördüncü bir yöntem olan kapsüllemeye, serbest enzim homojen bir suda çözünen katalizör olarak kalır ancak hücre içi ortamı taklit ederek, substrat ve ürüne geçirgen bir zarın arkasına hapsedilir (Brady & Jordaan, 2009; Franssen, & ark., 2013) İmmobilizasyon yöntemlerinde enzim fiziksel veya kimyasal olarak bağlanabilir. Yukarıda bahsettiğimiz yöntemlerden adsorpsiyon, tutuklama ve enkapsülasyon fiziksel bağlanma ile gerçekleşirken, çapraz bağlama ve kovalent bağlama yöntemlerinde enzim taşıyıcıya kimyasal bağlar vasıtasıyla tutturulur. Fiziksel immobilizasyon yöntemi kimyasal olmayan fiziksel etkileşimlere (örneğin, elektrostatik, protein-protein

etkileşimi vb.) bağlıdır. Kimyasal bir bağlanma olmadığı için geri dönüşümlüdür ve enzim tekrar serbest hale geçebilir, yani orijinal enzim yeniden üretilebilir. Kimyasal immobilizasyon yöntemleri en az bir kovalent bağın (veya kısmen kovalent) oluşumunu içerir. Gerçekte, birden fazla kovalent bağ söz konusudur. Böyle bir yöntem enzim taşıyıcıya sıkıca bağlı olduğu için genellikle geri döndürülemezdir (Bilal & Iqbal, 2019).

Bu yöntemler arasında adsorpsiyon basit ve ucuz bir yöntem olsa da enzimin, yüzey ile zayıf etkileşimlerinden dolayı, kaçışı söz konusu olabilir. Gıda işleme atıklarının işlemlerinde değişken ve genellikle ideal olmayan pH değerleri ve bir dizi yüklü bileşenin (tuzlar, iyonlar, makromoleküller) varlığı, enzimin kovalent olmayan etkileşimler yoluyla bir desteğe adsorbe edildiği sistemlerde göç olasılığını artıracak ve bu tekniği atık değerlendirme süreçlerindeki uygulamalar için uygunsuz hale getirecektir. Buna karşılık tutuklama ve kapsülleme enzimin mikro çevresinin korunmasında daha etkilidir. Burada ise enzim göçünü önlemek ve substratın yapının içinde enzime erişebilirliğini sağlamak için gözenek boyutunu kontrol etmek, özellikle gözeneklere substrat erişimini engelleyebilecek çözünmeyen maddeler içeren atık akışlarının karmaşık yapısı göz önüne alındığında, kritik öneme sahiptir. Çapraz bağlama, taşıyıcılı ve taşıyıcısız immobilizasyon sağlayabilir, ancak aktif bölge tıkanıklığını veya çökeltme sırasında denatürasyonu önlemek için çapraz bağlama parametrelerinin optimizasyonu gerekir. Çapraz bağlayıcı seçimi/konsantrasyonu, inert stabilize edici maddelerin dahil edilmesi ve çapraz bağlama koşulları (zaman, sıcaklık, aktif bölgeyi korumak için substrat varlığında immobilizasyon) gibi parametreler, sistem kararlılığını veya aktivitesini optimize etmek için değiştirilebilir. Aslında,

optimal stabiliteyi sağlayan koşullar çoğu zaman optimal aktiviteyi sağlayan koşullardan farklıdır ve amaç ve ihtiyaçlara bağlı olarak koşulların ayarlanması gerekmektedir. Destek materyali de dikkatlice düşünölerek seğıilmelidir. Doğası gereği lipazların hidrofobik malzemeler ile aşırı aktive olduğu bilinmektedir. Öte yandan eğer β -galaktozidaz enzimini hidrofobik bir malzeme üzerine immobilize edersek aktivitesini kaybedebilir. Enzim immobilizasyonunun bir diğer önemli etkisi, enzimin optimum çalışma koşullarını değiştirme potansiyelidir. Gerçekten de enzimlerin etrafındaki ortamın pH'ının, farklı polimerik matrislerde kapsölleme yöntemiyle manipölle edilebileceği, katyonik malzemelerin ortamı daha asidik, anyonik malzemelerin ise daha alkali hale getirdiği belirlenmiştir (Andler & Goddard, 2018).

Enzimin katı bir destek matrisine immobilizasyonu, yapısal deformasyonu önleyerek ve aktif bölgesinin yapısını koruyarak, gıda işleme atık akışlarının ideal olmayan koşulları altında enzim kararlılığını ve katalitik performansını artırır. İmmobilizasyon teknolojisi ayrıca enzimlerin tekrar tekrar kullanılabilirliğini kolaylaştırır ve bu da döngüsel ekonomi ağıısından enzimatik biyoproseslerin genel maliyetlerini düşürmeye yardımcı olabileceğinden dolayı önemlidir. Bu şekilde, biyokatalizör, karmaşık reaksiyon karışımından yalnızca geri kazanılamaz, aynı zamanda birden fazla ardışık döngüde önemli orijinal aktivitesini de korur (Bilal & Iqbal, 2019).

3. Küresel Endişe Kaynağı Olarak Gıda Atıkları

Gıda, insan ve hayvan yaşamın devamı ve sürdürölmesi için gerekli temel bir bileşendir. Sürekli büyüyen küresel nüfus ile birlikte gıda talebi artarken aynı zamanda da önemli miktarda

tarımsal ve gıda atığı (GA) üretilmektedir. Gıda atığı, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) tanımına göre, perakendecilerin, gıda hizmeti sağlayıcılarının ve tüketicilerin kararları ve eylemleri sonucu gıda miktarında veya kalitesinde meydana gelen azalmayı ifade eder (FAO2013, 2013) . Gıda atığının üretimi ayrıca su, toprak, enerji ve emek gibi diğer kaynakların önemli ölçüde kaybıyla da ilişkilidir. Gıda atıklarının uygunsuz şekilde işlenmesi ve bertaraf edilmesi önemli çevresel tahribata yol açabilir. Gıda atıklarının ve gıda kaybının etkisiz bir şekilde yönetimi, her yıl yaklaşık 3,3 milyar ton karbondioksit eşdeğeri veya 4,4 kiloton karbondioksit eşdeğerinin çevreye salınmasına sebep olurken, bu durum toplam antropojenik sera gazı emisyonlarının yaklaşık %8'ine denk gelmektedir (Liu & ark., 2023).

Gıda atığı, üretim ve işlemeden perakende ve tüketime kadar gıda tedarik zincirinin çeşitli aşamalarında meydana gelir ve her aşama atık azaltma ve değerlendirme için çeşitli zorlukların yanı sıra çeşitli fırsatlar da sunar. Tarımsal üretimde, gıda atığı kaynakta başlar; burada olumsuz hava koşulları, haşere istilasası, hastalıklar ve piyasa dalgalanmaları nedeniyle ürünler hasat edilmeden bırakılabilir veya atılabilir. Yanı sıra, perakendeciler tarafından belirlenen estetik standartlar, özellikle meyve ve sebzelerde, "nahış" veya kusurlu olduğu düşünölen ürünlerin (şekilsiz havuçlar veya lekeli elmalar gibi) besleyici ve yenmesi güvenli olmasına rağmen sıklıkla atıldığı, boyut, şekil veya renk açısından belirli kriterleri karşılamayan ürünlerin reddedilmesine yol açabildiğı bilinmektedir (Pal & ark., 2024). Hasat sonrası ambalajlama ve depolama, özellikle gelişmekte olan ölkelerde önemli gıda kayıplarının meydana geldiğı kritik aşamalardır. Soğuk depolama tesislerinin

yetersizliği de çabuk bozulan ürünlerin bozulmasına yol açarak atık oluşumuna katkıda bulunur (da S. Pereira, & ark., 2024).

Ancak, gıda atıklarının değerli ürünlere dnştrlmesi süreci yenilik ve sürdürülebilirlik için önemli fırsatlar sunar. Değerlendirme, yalnızca gıda sistemlerinin çevresel ayak izini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda aksi takdirde atılacak olanlardan yeni ürünler yaratarak ekonomik değer de katar. Gıda atığı, %10-16 katı, %10-40 lipit, %3,9-21,8 protein, %80-90 uçucu katı, 13,2-36,4 C:N oranı ve 0,80-0,97 uçucu katı:toplam katı oranına sahip bir yapıdadır. Yapılan birçok çalışmada, GA'nın kütle/kütle bazında %17-23 indirgeyici şeker, %30-34 nişasta ve %2-14 lif içerdiğini göstermiştir (Chakraborty, & ark., 2018). Zengin içeriği sebebiyle, gıda atığı değerlendirmesi, gıda tedarik zincirindeki yan ürünlerin ve atık malzemelerin doğrudan insan gıda ürünleri, hayvan yemi, biyobazlı malzemeler ve biyoenerji gibi katma değerli ürünlere dönüştürülmesini içerir. Kavram, kapalı devre sistemler oluşturarak atığı en aza indirmeyi ve kaynaklardan en iyi şekilde yararlanmayı amaçlayan dairesel ekonominin ilkelerine dayanmaktadır. Gıda bağlamında bu, mümkün olduğuunca malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dnştrlmesi, yeni kaynaklara olan ihtiyaın azaltılması ve çevresel etkinin en aza indirilmesi anlamına gelmektedir (Pal & ark., 2024).

Belediye alanlarından gelen organik atık fraksiyonu, tarımsal gıda atıkları veya mahsuller gibi farklı atık türleri değerli ürünlere dönüştürülebilir. Tarımsal endüstriyel atıklar çoğunlukla heteropolimerik lignin birimleri tarafından bir arada tutulan selüloz ve hemiselülozdan oluşur ve biyolojik dönüşüm, fiziksel ve kimyasal işlemlerden daha verimli bir şekilde lignosellolitik salgılayan mantar ve bakteri enzimleri ile elde edilebilir. İndirgeyici

şekerler, proteinler, mineraller, biyoaktif moleküller gibi diğer bileşikler, enzim kokteylleri kullanılarak lignoselülozik dönüşümden önce başarıyla elde edilebilir(Rojas Rojas, Zapata, & Ruiz-Tirado, 2022). Ayrıca, gıda atıkları, biyogaz gibi temiz ve yenilenebilir enerji üretmek için anaerobik sindirim ve eş sindirim için hammadde olarak kullanılabilir veya biyoyakıtlar, kimyasal ara ürünler ve biyoplastikler gibi kompozit biyobazlı ürünler üretmek için biyorafinerilerde kullanılabilir (Imbert, 2017).

Gıda endüstrisi atıkları da yüksek miktarda selüloz ve lignin içeriğine sahip baskın lignoselülozik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji açısından özellikle ilgi çekmektedir. Bu amaçla gıda atıklarını, elma posası ve bira üreticilerinin kullanılmış tahıl atıklarını biyoyakıta dönüştürmek için çeşitli teknolojiler de geliştirilmiştir (Bilal & Iqbal, 2019).

Selüloz ve hemiselülozların enzim destekli biyolojik bozunumu ve biyotransformasyonu ile sırasıyla serbest glikoz ve ksiloz üretilir ve bunlar fermente edici mikroorganizmalar tarafından yakıt etanolüne dönüştürülebilir. Ayrıca, lignin molekülü de piroliz ve anaerobik sindirim ile potansiyel olarak hidrojen ve metana dönüştürülebilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olduğu ve petrol fiyatlarının sürekli arttığı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynağı ve çok sayıda katma değerli kimyasal kaynağı olarak gıda atıkları büyük öneme sahiptir. Son zamanlarda, biyokütle atığını kullanarak üretilen kimyasalların, atıkların biyoyakıta dönüştürülmesinden 3,5 kat daha ucuz olduğu ortaya çıkmıştır (Bilal & Iqbal, 2019)

Ancak, gıda atıklarından enerji ve biyomalzeme üretimi henüz başlangıç aşamasındadır. Bu durumun sürdürülebilir ve

uygulanabilir olması için belirsizliği azaltarak ve şeffaflığı artırarak yatırımı teşvik etme konusunda güçlü bir ihtiyaç vardır. Bunun için öncelikle gıda atıklarının bulunabilirliği hakkında kesin bilginin sağlanması ile birlikte biyoenerji ve biyomalzemelerin çevreye daha düşük oranda etki sağlaması garanti edilmelidir (Imbert, 2017).

3.1 Gıda Atık Oluşum Kaynakları

Farklı kaynaklardan veya farklı üretim aşamalarından gelen gıda atıkları besin ve enerji israfına neden oluyor ve mevcut çöplüklerin kapasitesi üzerinde ciddi bir baskı oluşturuyor. Yiyecekler atık olmadan önce insan tüketimi için tasarlanıyor, bu nedenle besin açısından zengin ve yararlı ürünlere geri dönüştürülebilecek iyi bir kaynak olarak kabul ediliyor (Ho & Chu, 2019). Gıda atıkları, her birinin ortak özellikleri olsa da, türüne göre farklı kimyasal bileşenlere de sahiptir. Gıda atık oluşum kaynakları tahıl ve bakliyatlar, meyve ve sebzeler, süt ürünleri, yenilebilir yağlar, et, kümes Hayvanları ve yumurta, ve balık ve deniz ürünleri atıkları olmak üzere 6 sınıfta incelenebilir(Liu & ark., 2023)

3.2 Gıda Atığı Biyorafinerisi

Yüksek katma değerli bileşiklerin ekstraksiyonu ve geri kazanılması ile birlikte yakıt ve kimyasalların üretimi gibi daha cazip alternatif çözümler yoluyla atık değerlendirme potansiyeli hem bilim dünyasında hem de kamuoyunda büyük ilgi görmüştür. Bu yaklaşım kapsamında, biyorafineri konseptleri, pazarlanabilir ara ürünler ve son ürünlerin üretimine yönelik biyokütle/atıkların değerlendirilmesi için entegre ve çok işlevli süreçlerin geliştirilmesiyle döngüsel ekonomiye geçiş için önemli bir unsur olarak görülmektedir. Bu tür biyoproseslerin tasarımı için bir ön koşul, daha düşük karbon ayak iziyle gösterilen çevresel

sürdürülebilirliğe paralel olarak ekonomik uygulanabilirliğe de dayanmaktadır (Maina, Kachrimanidou, & Koutinas, 2017).

Biyorefineri konsepti, farklı teknolojileri bir araya getirerek biyokütlenin tümünün değerlendirilmesini mümkün kılan entegre biyo-tabanlı endüstrileri kapsamaktadır. Biyorefineri kavramı, ham petrolün çeşitli ürünlere, örneğin yakıtlara ve petrokimya endüstrisi için hammaddelere ayrıldığı petrol rafinerisiyle benzerlik göstermektedir (Vea, Romeo, & Thomsen, 2018).

Gıda atığı biyorefineri, çeşitli gıda atıklarının biyoyakıtlar, platform kimyasalları ve biyotabanlı malzemelere dönüştürüldüğü bir süreçtir. Gıda atıklarının değerlendirilmesi için etkili bir biyorefineri sürecinin seçilebilmesi adına, bu atıkların bileşimlerini, bileşenler arasındaki etkileşimleri ve hedeflenen nihai ürünleri bilmek oldukça önemlidir. Genel olarak, gıda atığı biyorefineri süreçleri üç ana gruba ayrılır: (i) biyolojik yol: enzimler veya mikroorganizmalar aracılığıyla gıda atıklarının katma değerli ürünlere dönüştürüldüğü süreç; (ii) termokimyasal süreç: kimyasalların çözücü olarak kullanıldığı ve gıda atıklarının yüksek sıcaklıkta işlendiği süreç. Bu kategoriye sıvılaştırma, piroliz ve gazlaştırma dahildir; (iii) kimyasal süreç: kimyasalların hem çözücü hem de katalizör olarak kullanıldığı süreçler. Daha yüksek dönüşüm verimliliği nedeniyle, yukarıdaki süreçlerden iki veya daha fazlasının entegre bir şekilde birleştirilmesi, birçok araştırmacı tarafından tercih edilmiştir. Bir biyorefineri süreci, belirli hammaddeye özgü sorunlarla başa çıkacak şekilde uyarlanabilir, ancak hammadde özelliklerindeki farklılıklar zorluk yaratabilir (Tsegaye, Jaiswal, & Jaiswal, 2021). Restoran ve mutfak atıkları da dahil olmak üzere Organik Fraksiyonlu Belediye Katı Atığı (OFBKA) gibi karışık hammaddelere dayalı biyorefineri konsepti, sanayi ve tarımdan elde edilen homojen hammaddelere

kıyasla daha az gelişmiştir. OFBKA'nın karışık yapısından dolayı, bileşimi karmaşıktır ve kimyasal olarak nişasta, selüloz, protein, yağlar, lipitler ve diğer organik maddelerden oluşur. Bu durum, OFBKA'nın biyorefinerilerde kullanımının daha az incelenmesine sebep oluşturmaktadır (Baiano, 2014; Zou & ark., 2020).

Organik kentsel katı atıkların (OKKA) bileşimi, toplandığı yer ve zamana bağlı olarak büyük farklılıklar göstermekteyken, gıda tedarik zinciri atıklarının (GTZA) bileşimi ise genellikle orijinal hammaddenin doğasına bağlıdır. Genel olarak, OKKA ve GTZA'nın ana bileşenleri karbonhidratlar (nişasta, selüloz, hemiselülozlar ve glikoz, fruktoz ve süktroz gibi çözünür şekerler), proteinler, yağlar ve minerallerden oluşur (Alibardi & Cossu, 2015). OKKA; yemek artıkları, restoranlar, kafeteryalar ve pazar yerlerinden gelen mutfak atıkları ile evsel gıda atıklarını içerir ve genellikle yüksek nem içeriği ile yüksek biyobozunurluk özelliği taşır. Organik atığın türüne ve bileşimine bağlı olarak çeşitli değerli ürünler üretilebilmektedir. Çeşitli GTZA'dan yüksek değerli bileşenlerin elde edilmesi, fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal süreçlerin uygulanmasıyla başarıyla gerçekleştirilmiştir (Maina, Kachrimanidou, & Koutinas, 2017b).

Ayrıca, tarımdan doğrudan veya dolaylı olarak elde edilen büyük miktarda gıda atığı, gıda zinciri boyunca üretilen faydalı biyolojik bazlı materyalleri içermektedir. Bu gıda atıklarının ve yan ürünlerinin önlenmesi, dünya biyoekonomisine katkı sağladığı gibi çevresel sorunların azaltılmasına da yardımcı olmaktadır. Bu durum, gıda atıklarının değerli ürünlere dönüştürülmesiyle mümkün olabilir (Capanoglu, Nemli, & Tomas-Barberan, 2022).

Meyve ve sebze atıklarının kullanımı, gıda sürdürülebilirliği açısından en karmaşık ve temel görevlerden biridir. Düşük maliyetli olan bu atık materyaller, yüksek değer taşıyan lifler, enzimler, polisakkaritler ve organik asitler gibi bileşenler açısından zengindir. Sosyoekonomik açıdan değerlendirildiğinde, bu biyolojik atık materyaller, kimya endüstrilerinde çok düşük maliyetle hammadde olarak kullanılmaktadır (Awasthi & ark., 2022).

Meyve ve sebzeler gıda atıklarının büyük bir kısmını temsil etmektedir. Meyve ve sebze atıklarından polifenoller, karotenoidler, vitaminler, antioksidanlar, flavonoidler, lifler ve pektin dahil olmak üzere biyoaktif bileşikler, gıda endüstrisinde, çeşitli farmasötik uygulamalarda ve fonksiyonel gıdaların üretiminde katkı maddesi olarak potansiyel olarak kullanılabilir. Fenolik bileşikler elma posası, turunçgil kabuğu kalıntıları ve meyvelerden elde edilmiştir (Baiano, 2014). Pektin, elma posası, turunçgil kabuğu, şeker pancarı, ayçiçeği başları, karpuz ve tropikal meyvelerin atıklarından elde edilerek gıda endüstrisinde jel oluşturucu, koyulaştırıcı ve dengeleyici madde olarak kullanılabilir (Baban, 2014; Maina & ark., 2017).

Fırıncılık atıklarının değerlendirilmesinde *Monascus purpureus* mantar suşu ile biyolojik renk maddeleri üretimi gerçekleştirilmiştir (Haque, Kachrimanidou, Koutinas, & Lin, 2016). Özellikle, fırıncılık atıkları başlangıçta besin açısından zengin bir fırıncılık atığı hidrolizatının oluşturulmasında kullanılmış ve daha sonra *Monascus purpureus* mantar suşu ile biyolojik renk maddeleri üretimi açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre, bu şekilde biyolojik kaynaklardan elde edilen doğal pigmentlerin, gıda ve tekstil endüstrilerinde kullanılabilirken, doğal pigmentler pazarının toplam gıda

renklendiricileri pazarındaki payının 2015 yılında %55'ten 2026 yılında %60'a yükselmesi öngörülmektedir (Maina, Kachrimanidou, & Koutinas, 2017).

Zararlı böceklerin seçici bir şekilde kontrol edilmesinde kullanılan biyopestisitler de ev mutfaklarından, kafeteryalardan ve restoranlardan kaynaklanan mutfak atıklarının değerlendirilmesi yoluyla yarı katı ve katı hâl fermantasyonu ile üretilmiştir. Eysel mutfak atıkları ve gıda atıkları, fungal suşlar tarafından gerçekleştirilen katı hâl fermantasyonu yoluyla glukoamilaz, pektinolitik enzimler, lipaz, selüloz, glukoamilaz ve proteaz çeşitli enzimlerin elde edilmesi için de kullanılabilir (Abu Yazid & arkç, 2017; Matsakas & ark., 2017).

Tarım-sanayi, süt ürünleri ve gıda işleme atıkları ise son dönemde biyosüpfaktan üretiminde kullanılmıştır. Rhamnolipitler, sofrolipitler ve surfaktin, yapıştırıcılar, flokülantlar, ıslatma ve köpük ajanları, demülsifikantlar ve penetrantlar gibi geniş bir endüstriyel uygulama alanı göstermektedir. Ayrıca, biyosüpfaktanlar toprak ve su arıtımında, tarımda fungusit olarak ya da biyoyileştirme aktivitelerini artırmak için katkı maddesi olarak kullanılabilir. Gıda tedarik zinciri atıklarının (GTZA) mikrobiyal biyodönüşümler yoluyla değerlendirilmesinde en yaygın yaklaşımlar biyoyakıt üretimi, özellikle biyoetanol üretimi ile ilişkilidir. Birçok çalışma, evsel mutfak atıkları, kafeterya ve yemek merkezlerinden gelen gıda atıkları, narenciye atıkları, üzüm posası, patates kabuğu atıkları, ananas atıkları ve muz kabuğunun etanol üretimi için kullanımına yönelik yöntemler sunmuştur (Maina & ark., 2017; Matsakas & ark., 2017). Ayrıca, (GTZA)'nın kimyasallar, kimyasal ara ürünler, biyoyakıt öncülleri ve biyobozunur polimerlerin üretiminde ana hammadde olarak

kullanılan katma değerli ürünlere dönüştürölmesi üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Süksinik asit, sitrik asit, laktik asit, bütnöl ve poli(3-hidroksibütirat) gibi ürünler, gıda atıklarının fermantasyonu yoluyla yaygın şekilde üretilmiştir (Maina & ark., 2017b).

Atık biyorafinerisi, gıda atıklarının değerdendirilmesi için ideal bir kavramdır. Ancak, gıda atıklarının değerdendirilmesi sırasında, hammadde bileşimi ve elde edilmek istenen nihai ürünün belirlenmesi, daha verimli ve etkili yöntemlerin (girdi-çıktıya uygun teknoloji seçimi) seçilmesi için kritik öneme sahiptir. Ürün verimliliği ve üretim maliyeti, gıda atıklarının ekonomiye entegrasyonunu gerçekleştirmek için çözölmesi gereken başlıca sorunlardır. Bu hedeflere ulaşmak için yenilikçi ara ürün ayırma yöntemlerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, yüksek değerdli ürünlerin potansiyel geri kazanımı ve yaşam döngüsü analizleri ile teknik-ekonomik analizler gibi çevresel etkilerin değerdendirilmesi üzerine kapsamlı araştırmalar, büyük ölçekli uygulamalar için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, dünya genelinde sürdüröllebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve bu hedeflerin gerçekleştirilmesini sağlamak için, gıda atıklarının azaltılması ve/veya kullanılması konusunda hükümet müdahaleleriyle politikalar ve mevzuatlar oluşturmak, döngüsel ekonomiye geçiş için önemli adımlardır (Tsegaye, Jaiswal, & Jaiswal, 2021).

4. Gıda Atıklarının Enzimatik Değerdendirilmesi

Atıkların bertarafında yaygın bir şekilde kullanılan depolama sahası biyoreaktörü, basit, ucuz ve verimli bir yöntem olarak görölse de sebze ve meyve atıklarının (SMA) kontrolsüz bir şekilde açık alanda ayrıştırılması, küresel ısınmaya büyük katkıda bulunurken

kaynakların geri kazanımını da güçleştirmektedir. SMA'nın işlenmesi için yaygın olarak kullanılan termal teknikler arasında yakma, gazlaştırma ve piroliz bulunmaktadır. Yakma sürecinde, SMA hava varlığında yanarak ısı enerjisi ve kül üretir. Yakma tesisleri SMA miktarını %85 oranında azaltabilir; bu nedenle, depolama alanı sıkıntısı çeken ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Caton & ark., 2010). Ancak, SMA'nın yüksek nem içeriği ve dioksin emisyonu potansiyeli, yakma işlemini tercih edilmeyen bir yöntem haline getirmektedir. %70'ten fazla nem içeren SMA'nın termal işleme yönetimi, substratın kurutulması için önemli miktarda enerji gerektirdiğinden, sürecin güvenilirliği ve verimliliği konusunda şüpheler doğurmaktadır (Chakraborty & ark., 2023). SMA'nın yönetimi için yakmanın alternatif bir yöntem olarak kullanılması, doğrudan enerji geri kazanımına olanak tanımaktadır (Caton & ark., 2010). SMA'nın yakılmasıyla önemli miktarda kimyasal enerji elde edilebilir. Su içeriği uzaklaştırıldıktan sonra SMA pelet haline getirilip kömürle birlikte kazanlarda yakılabilir. Organik atıkların, özellikle SMA'nın, fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji üretimi için en uygun işleme yöntemi anaerobik sindirimdir (AS). Son yıllarda, SMA'nın iki aşamalı AS süreciyle değerlendirilmesine yönelik önemli gelişmeler kaydedilmiştir. İlk aşamada hidroliz ve asitogenez gerçekleşerek uçucu yağ asitleri üretilirken, ikinci aşamada asetat metana dönüştürülmektedir (Chakraborty ve ark., 2022).

Anaerobik sindirim, atıkları arıttığı ve ton başına yaklaşık 250 kW enerji geri kazanım potansiyeline sahip enerji ürettiği için en avantajlı yöntem olarak görülmektedir. Ancak, meyve ve sebze atıklarının güçlü lignoselüloz bariyeri organik maddelerin hidrolizi için büyük sorun teşkil etmekte ve çeşitli biyolojik süreçler için zorlu

olmaya devam ederek sürecin uzamasına da sebep olmaktadır(Chakraborty & ark., 2023; Chakraborty & ark., 2022). Mekanik (ısı), kimyasal (asit-alkali) ve fizikokimyasal (entegre ısı-asit-alkali) gibi geleneksel ön işlem yöntemleri meyve ve sebze atıklarının fermantasyon verimliliğini artırmasına rağmen pahalıdır, önemli miktarda su gerektirir ve 5-Hidroksimetil furfural ve aldehit gibi engelleyici kimyasallar üretmesi sebebiyle sürdürülebilirliği düşüktür (Schroyen & ark., 2014). Bununla birlikte, SMA'ya AS işleminden önce uygulanan enzimatik ön işlemler, lignoselülozik bileşenlerden şeker salınımını artırarak enerji ve kaynak geri kazanımını daha verimli hale getirir.

Bu bağlamda, biyolojik ve enzimatik ön işlem teknikleri daha spesifik oldukları, daha az kimyasal ve enerji girdisi gerektirdikleri ve işlem esnasında herhangi bir inhibitör üretmedikleri için geleneksel teknolojilere kıyasla MSA'dan biyolojik kaynak geri kazanımında daha etkilidirler (Schroyen et al., 2014). Meyve ve Sebze atıklarının değerlendirilmesinde ön işlem olarak saf mikrobiyal enzim kullanımı pahalıdır. Alternatif olarak, ön işlem için biyokütle lizatından ham enzimler kullanmak ekonomik olabilir (Uçkun Kiran, Trzcinski, Ng, & Liu, 2014). MSA'nın enzim aracılı depolimerizasyonunda temel rol oynayan enzimler, ligninazlar, proteazlar, karbohidrazlar, lipazlar ve pektinazlardır. Bunlar, lignin, lipitler, proteinler, holoselüloz, pektinlerden oluşan MSA'nın partikül maddesini sistematik olarak daha basit alt birimlere ayırır (Mesela nişastayı glukoza; proteinleri amino asitlerine; pektini galaktoz, arabinoz, poligalakturonik aside, vb.). Hidrolize edilmiş MSA, AD ve diğer biyolojik prosesler yoluyla biyoyakıtlara ve çeşitli kimyasallara dönüştürülebilir (Chatterjee & Venkata Mohan, 2022; Uçkun Kiran et al., 2014). Bu nedenle, gıda tedarik zinciri

sürdürülebilir MSA yönetimini sağlamak için sistematik uygulamaları enzimatik dönüşüm teknolojileriyle entegre etmelidir (Chakraborty et al., 2023).

4.2 Gıda Atıklarının Değerlendirilmesinde Enzimler

Her yıl su kaynaklarına veya çöp sahalarına atılan gıda işleme atıkları, özellikle çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi bir endişe kaynağı olmuştur. Ancak, gelişen teknolojiyle birlikte atıktan enerji elde etme yaklaşımı, katı atıklardan enerji geri kazanımı, küresel düzeyde uygulanabilir bir atık yönetimi alternatifi olarak popülerlik kazanmıştır. Bu açıdan, biyolojik katalizörler olan enzimlerin gıda atıklarının katma değeri yüksek ürünlere dönüştürmedeki kullanımı, küresel atık yönetimi sorununa yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Katma değeri yüksek ürünler biyoyakıtlar, biyomoleküller, nutrasötikler, hayvan yemleri, biyobozunur ambalaj malzemeleri ve enzim destekli gıda işleme gibi geniş bir uygulama alanını kapsamaktadır. Gıda atıkları, enzimatik süreçler sayesinde ekonomik açıdan değerli kaynaklara dönüştürülerek çevre kirliliği azaltılabilir, kaynaklar korunabilir ve döngüsel ekonomi modelinin ilerlemesine katkı sağlanabilir (Chakraborty & ark., 2023).

4.2.1 Gıda Atıklarından Biyoyakıt Üretiminde Enzimler

İkinci nesil biyoyakıtlar ve diğer enerji açısından zengin yakıtların üretiminde öne çıkan lignoselülozik biyorafinerleri, geleneksel fosil yakıtlara sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif sağladığından dolayı büyük oranda desteklenmektedir. Biyorafineri tesisleri, gıda atıklarının sürdürülebilir bir şekilde biyoyakıtlar, kimyasallar, malzemeler ve yüksek değerli ürünlerin üretimi için kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmektedir. Gıda atıklarının yüksek oranda içerdiği kompleks karbonhidratlardan

(selüloz/hemiselüloz) fermentabl veya indirgen şekerler, enzimatik hidroliz ve fermantasyon gibi enzimatik süreçler vasıtasıyla verimli bir şekilde üretilabilmektedir. Bu şekerler, karbonhidratların enzimlerin etkisiyle etanol ve biyodizel gibi biyoyakıtlara dönüştürüldüğü mikrobiyal fermantasyon için başlangıç materyali olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, geleneksel kimyasal katalizörlerin yerine çok sayıda daha verimli ve fonksiyonel ticari enzimler mevcuttur. Selülaazlar ve amilazlar gibi enzimler, polisakkaritler ve nişastalardaki bağları parçalayarak fermantasyona uygun şekerlerin salınmasını sağlayan enzimatik hidroliz sürecine katkıda bulunmaktadır ve bu şekerler kolaylıkla etanole dönüştürülebilmektedir (Yadav ve ark., 2023).

Tarım ve gıda atıklarının büyük bir kısmı, nişasta da dahil olmak üzere potansiyel polisakkarit kaynaklarıdır ve bu nedenle birçok kimyasal, organik asit ve biyoyakıtın endüstriyel ölçekte üretiminde kullanılabilir. Örneğin, *Saccharomyces cerevisiae*' den elde edilen α -amilazlar, melas gibi çeşitli tarım atıklarından etanol üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, amilaz enzimleri nişasta moleküllerindeki α -1,4 bağlarını hidrolize ederek önce dekstrinlere, ardından daha basit şekerlere (maltoz ve izomaltoz) dönüştürmektedir; bu kimyasal reaksiyon biyoyakıt sentezinde sıklıkla kullanılmaktadır (Arya & ark., 2022; Mondal & ark., 2022).

Ayrıca, karbonhidrat bileşenleri etanol üreten endüstriler için tercih potansiyeline sahipken, gıda atıklarının lipit bileşenleri biyodönüşüm teknolojileri yardımı ile biyodizele dönüştürülebilmektedir. Lipazlar triaçilgliserollerin, di- ve mono-açilgliserollerin yağ asitleri ve gliserole hidrolizini katalizleyen ve gıda, deterjan, kozmetik, organik sentez ve farmasötik endüstrisinde endüstride sıklıkla kullanılan enzimlerdendir. Isıya dayanıklı

bakteriyel suşlardan elde edilen lipazların, ucuz besiyerlerinde hızlı bir şekilde çoğalmaları, yıl boyunca temin edilebilir olmaları gibi avantajlarının yanı sıra ölçeklendirme potansiyeline sahip oldukları, geniş bir sıcaklık aralığında stabil oldukları ve güçlü organik çözücülere karşı direnç gösterdikleri belirlenmiştir. Lipazlar ayrıca belirli koşullar altında alkoliziz, asidoliziz, aminoliziz, esterifikasyon ve transesterifikasyon reaksiyonlarını da katalizleyebilmektedirler (Saxena & ark., 2003).

Gıda atıklarının bertarafında oldukça etkili biyolojik bir yöntem olan AS, basit ve yüksek verimli süreçler içermesinin yanı sıra yeşil ve çevre dostu bir yöntemdir. Bu özellikleriyle AS katı atık hacminin azaltılması avantajına ek olarak biyometan üretilmesi ile çift yönlü bir avantaj sunar. Öte yandan hız sınırlayıcı basamağı olan hidroliz süreci biyometan verimini teorik olarak beklenenin aksine oldukça düşürmekte, bu durum da gıda atık bertarafının endüstriyel olarak gelişimini engellemektedir. Bu olumsuzluklar karşısında ılımlı reaksiyon koşulları, yan ürün oluşmaması ve ikincil kirliliğin önlenmesi gibi avantajlarıyla enzimatik ön işlem gıda atıklarının hedefe yönelik olarak ayrışmasını kolaylaştırır. Mesela, proteazlar proteinleri parçalayarak amino asitlere, amilazlar ise nişasta ve selülozu indirgenmiş şekere dönüştürür. Böylelikle, biyolojik olarak parçalanabilir moleküller sıvı faza geçerek biyometan üretimi verimi artarken ikincil kirlilik de minimuma iner. Enzimatik ön işlem biyoatıklardan biyometan üretimi için umut verici bir yaklaşımdır (Zou & ark., 2020).

4.2.2 Gıda Atıklarından Fonksiyonel Gıda Üretiminde Enzimler

Ücretsiz hammadde kaynağı olarak veya düşük maliyetli olduklarından gıda işleme atıkları değerli ürünler elde etmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu atıklardan özellikle prebiyotik üretimi dikkat çekmeye başlamıştır. İnsan sindirimine dirençli bileşikler olarak prebiyotikler, bağırsakta faydalı bakterilerin büyümesini destekledikleri için sağlık açısından önemli faydalar sağlar. Gıda atıklarındaki karbonhidrat ve lif içeriği, enzimatik muamele ile prebiyotiklere dönüştürülebilir. Son yıllarda, özellikle prebiyotik içeren ürünlere olan talep artışıyla birlikte, fonksiyonel gıda pazarı önemli bir büyüme göstermiştir. Endüstriyel açıdan enzimatik yöntemlerin, çevreye zararlı yan ürünler üretmemesi ve ekonomik avantajlar sunması nedeniyle diğer tekniklere üstünlükleri bilinmektedir(Nargotra & ark., 2024). Önemli bir probiyotik grup olan Galakto-oligosakkaritler (GOS), süt atıklarındaki laktozdan enzimatik yöntemlerle üretilirler ve insan sağlığına olumlu etkileri sebebiyle dikkat çekmektedir. Endüstriyel ölçekte GOS'un enzim aracılı katalitik üretimi giderek yaygınlaşırken, transgalaktozilasyon reaksiyonunun verimliliği ve GOS biyosentezinin kalitesini artırma gerekliliği, bu süreçte karşılaşılan temel zorluklar arasında yer almaktadır. Bu iyileştirmeler hem üretim süreçlerini optimize edebilir hem de elde edilen GOS'un fonksiyonel özelliklerini artırabilir (Bilal & Iqbal, 2019). Endüstriyel açıdan, bu süreçlerin optimizasyonu, daha düşük maliyetlerle yüksek verim elde edilmesini sağlar.

Ksilooligosakkaritler (XOS), faydalı bağırsak mikrobiyotasının aktivitesini artırma kapasitesi ile son zamanlarda gıda araştırmaları alanında potansiyel prebiyotik maddeler olarak

dikkat çekmektedir. Genişleyen pazar taleplerini karşılamak amacıyla, gıda endüstrisi daha sürdürülebilir ve verimli XOS üretim biyosüreçleri geliştirmek için çalışmaktadır. Lignoselülozik gıda atıklarının hemiselülozundaki ksilan fraksiyonunun otoklavlama, asidik veya alkalın kimyasal çözeltiler ve/veya enzimatik teknikler yoluyla hidrolizi, ksilooligosakkaritler (XOS) olarak bilinen bileşikler üretilmektedir (Yadav & ark., 2023). Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, enzimatik yöntemler, tehlikeli maddeler üretmedikleri ve özel ekipman gerektirmedikleri için tercih edilmektedir.

Gıda atıklarının fonksiyonel gıdalara dönüştürülmesi, sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm sunarak hem çevre hem de sağlık açısından önemli katkılar sağlar.

4.2.3 Gıda Atıklarından Biyoplastik Üretiminde Enzimler

Günümüzde çevresel kirliliğin artışıyla birlikte kaynakların giderek azalmasıyla karşı karşıya kalan dünyamızda, kaynakların sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Petrol rafinerilerinden sentetik plastik üretimi, çıkarma, rafinasyon ve sera gazı salınımı gibi faktörler nedeniyle çevresel açıdan külfetli bir işlemdir. Ayrıca, bu plastiklerin bertarafı, genellikle yüzlerce yıl boyunca çevrede kalarak kirliliğe katkıda bulunup ekosistemlere zarar verdiği için önemli çevresel zorluklar ortaya çıkarmaktadır(Nargotra & ark., 2024). Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve plastik atıkların çevresel etkisini azaltma ihtiyacı konusunda endişe artışıyla birlikte, küresel çevresel zorluklara bir çözüm olarak yenilenebilir kaynaklara dayalı biyoplastik malzemelerin geliştirilmesi hız kazanmaktadır(Longo, & ark., 2024). Biyoplastikler, farklı özelliklere ve uygulamalara sahip

bir malzeme ailesidir. Bir plastik malzeme, "biyoplastik" olarak tanımlanabilmesi için ya biyolojik kaynaklı olması ya da belirli koşullarda biyobozunur olması veya her iki özelliği birden taşıması gerekmektedir(Lackner, Mukherjee, & Koller, 2023).

Enzimatik hidroliz, polimerlerin monomerlerine veya ara ürünlerine dönüştürülmesinde temel mekanizma olarak işlev görmektedir ve bu süreç, gıda atıklarının hidrolitik kapasitesini artırırken uçucu askıda katı maddeleri azaltmaktadır. Lignoselüloz gibi polimerik yapıların fermantasyona uygun ürünlere (karbonhidratlara ve hayvansal yağın yağ asitlerine) dönüştürülmesi, bu sürecin kritik bir aşamasını oluşturur. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, şeker kamışı bagası kullanılarak *Bacillus cereus* ile optimum koşullarda polihidroksialkanoat (PHA) sentezi yüksek bir verimle gerçekleştirilmiştir (Yong & ark., 2024). Ayrıca, termokimyasal ve enzimatik ön işlemlerle sentetik mutfak atıklarından fermentasyon için gerekli şekerlerin salınımı artırılmıştır. Bu bulgular, gıda atıklarının biyobozunur biyoplastiklere dönüştürülerek sürdürülebilir endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir.(Nargotra & ark., 2024)

4.2.4 Gıda Atıklarından Biyoenzim Üretiminde Enzimler

Biyoyakıt, fonksiyonel gıda üretiminin yanı sıra, gıda atıklarından, özellikle de sebze atıkları, biyoenzim üretimi de mümkündür. Bu çevre dostu yöntem gıda atıklarının doğal temizleyici, gübre ve koku gideriminde kullanılmak üzere biyoenzimlere dönüştürülmesinde enzimlerin gücünden faydalanır. Endüstriyel amaçlı çeşitli enzimler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sebeple, endüstriyel üretimin ihtiyaçlarını

sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için enzim üretimi büyük önem arz etmektedir (Nargotra ve ark., 2024). Enzim üretiminde, düşük maliyetli substratlar kullanılarak düşük maliyetli ve yüksek aktiviteye sahip enzimlerin elde edilmesi amacıyla, katı hal fermentasyonu yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda katı hal fermentasyonu yöntemi ile özellikle selülozlar, proteazlar, lipazlar, amilazlar ve pektinazlar gibi endüstriyel açıdan önemli enzimler başarılı bir şekilde üretilmiştir (Uçkun Kiran & ark., 2014).

4.2.5 Gıda Atıklarından Fitokimyasal Üretiminde Enzimler

Tarım-gıda atıkları, sadece biyomakromolekülleri içermez aynı zamanda biyoaktif bileşenler açısından zengin bir kaynaktır ve bu bileşenler yüksek antioksidan özellikleri sayesinde insan sağlığını desteklerken hastalıkların önlenmesine de yardımcı olur. Polifenoller, karotenoidler, flavonoidler ve fenolik asitler gibi çeşitli fitokimyasallar gıda atıklarından çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. Örneğin, glukoamilaz enzimi ile enzimatik hidrolizden elde edilen gıda atığı hidrolizati, *Chlorella sp.* ile yarı sürekli fermantasyon ile yüksek lutein ve lipid üretimi için substrat olarak kullanılmıştır. Yine mango kabuğu atıklarından ultrason destekli enzimatik yöntemlerle yüksek antioksidan aktiviteye sahip polifenoller, ayçiçeği atıklarından ise yeşil çözücülerle fenolikler ve karotenoidler başarıyla çıkarılmıştır. Bu bulgular, tarım-gıda atıklarının endüstriyel ölçekte enzim destekli ekstraksiyonla değerlendirilebileceğini göstermektedir.(Uçkun Kiran & ark., 2014)

4.2.5 Balık ve Su Ürünleri Atıklarından Biyoaktif Peptid Üretiminde Enzimler

Mavi biyoekonomi, okyanus kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılarak ekonomik büyüme ve gelişim sağlanmasını hedeflemektedir. Öte yandan, iklim değişikliği ve balıkçılık ile su ürünleri sektörlerindeki sürdürülemez uygulamalar bu hedeflere ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Mesela, dünyada balık tüketiminin artışıyla birlikte, balık ve deniz ürünlerinin işlenmesi sonucu oluşan atıklar toplam üretimin %50-70'ine ulaşabilmekte ve genellikle denize atılmakta, depolanmakta ya da en iyi ihtimalle balık unu ve yağına dönüştürülmektedir.

Ancak, mavi biyoekonomi kapsamında bu atıklar, içerdiği yüksek katma değerli biyoaktif bileşenler (enzimler, proteinler, yağ asitleri, karotenoidler, mineraller, vb.) sebebiyle, endüstriyel olarak değerlendirilebilecek yenilenebilir bir kaynak olarak görülmektedir. Bu sayede bu atıkların düşük maliyetli, çevre dostu ve döngüsel süreçlerle faydalı ürünlere dönüştürülmesi, deniz ekosistemleri üzerindeki baskıyı azaltabilir, kirliliği önleyebilir ve ekonomik değer yaratarak sürdürülebilir kalkınmayı destekleyebilir (Khiari, 2024). Öte yandan, balık atıkları, insanlar tarafından tüketilen balık kısımlarıyla çok benzer bir protein içeriğine sahiptir. Bu nedenle, balık atıkları atılmak yerine daha faydalı bir uygulama için kullanılabilir; çünkü balık proteinleri, bitkilerden elde edilen proteinlerle karşılaştırıldığında daha üstün, diğer hayvansal protein kaynaklarıyla kıyaslandığında ise daha dengeli bir amino asit profiline sahiptir (Araujo, Sica, Costa, & Márquez, 2021).

Balık atıklarından protein hidrolizatları, balık yağı, kolajen gibi önemli ürünler enzimatik hidroliz yoluyla elde edilebilir.

Protein hidrolizatları, içerdiği di- ve tripeptitler sayesinde beslenme, biyoteknoloji ve hatta kozmetik alanında önemli bir içerik olarak değerlendirilir. Balık atıklarından elde edilen kolajen, hidroliz edilmesiyle biyomedikal, beslenme ve kozmetik uygulamalarda önemli içerikler sunar. Ancak kolajen çözünmeyen dayanıklı lifli bir yapıya sahip olduğundan globüler proteinlere kıyasla hidrolizi zor olsa da dini kısıtlamalar ya da prion riski taşıyan sığır kolojeninden kaynaklı sağlık riskleri nedeniyle memeli kolojenine alternatif olarak tercih edilebilir. Omega-3 yağ asitlerinin sağlık açısından faydaları nedeniyle yüksek talep görmektedir. Bu yüzden de balık yağı, kozmetik, ilaç ve biyodizel sektörü için kıymetlidir (Araujo et al., 2021). Bu alanda yapılan çalışmalar ılıman koşullarda gerçekleşen enzimatik hidroliz yönteminin, atıklardan elde edilecek olan yağların ve lipidlerin fonksiyonel özelliklerine minimum etki ederek balık yapı ve lipid eldesinde alternatif bir yöntem olabileceğini göstermiştir (Nargotra et al., 2024). Ayrıca, enzimatik biyodönüşüm yöntemi su ürünleri atıklarının değerlendirilmesinde düşük maliyetli ve düşük bakım gerektiren sürdürülebilir yöntem olmasının yanında bu kıymetli kullanılmayan yan ürünlerin kalitesini de arttırmaktadır. Yanı sıra, balık protein hidrolizatlarının sağlıkla ilgili uygulamalardaki etkinliği ve potansiyeli, bu ürünlerin ekonomik değerini yükseltmekte ve döngüsel ekonomi kavramlarına vurgu yapan stratejik atık yönetim programlarına katkı sağlayabilmektedir.

5. Sonuç

Döngüsel ekonomi kapsamında gıda atıklarının değerlendirilmesi hala emekleme aşamasındadır. Dünyada bir taraftan açlık artarken öte yandan gıda israfı ve açığa çıkan gıda atıklarının yarattığı zorlukların biyorafineri yaklaşımıyla katma

değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi döngüsel ekonomi ve yeşil kimya kapsamında çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Gıda atıklarının sunduğu fırsatların değerlendirilmesinde temel zorluk ise gıda atıklarının türü ve bileşiminin değişken olmasıdır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için girdinin türüne bağlı olarak uygun teknoloji seçimi önemlidir. Bir diğer önemli nokta ise elde edilen ürünün verimliliği ve üretim maliyetinin gıda atıklarının biyoteknolojiye entegre edilmesidir. Yeşil kimya ilkelerine dayalı bir döngüsel kimya endüstrisinin geliştirilmesi, muhtemelen sürdürülebilir bir gelecek için mutlak yoldur. Bu bölümde, biyokatalizler sayesinde atıkları geri kazanmanın, yeniden kullanmanın ve bunları endüstriyel üretim zincirlerine yeniden dahil etmenin uygun ve verimli bir yolunu göstermek istedik. Biyokatalizörler atık değerlendirmesinde önemli bir rol oynamaktadır ve oynayacaktır; teknolojik potansiyelleri oldukça güçlüdür. Biyokatalizörlerin diğer kilit teknolojilerle kombinasyonundan elde edilen etkileyici ve verimli sistemler, sürdürülebilir süreçler ve malzeme döngüsellğine dayalı yeni döngüsel kimyasal süreçler oluşturmak için önemli yollar açmaktadır. Biyokataliz, yalnızca üretimi kolay değil, aynı zamanda biyolojik olarak parçalanabilen ve yenilenebilir olan doğal katalizörler, yani enzimleri kullanır. Son yıllarda endüstriyel alanda faaliyet gösteren çoğu üretici sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için enzimlerin biyokatalizör olarak geliştirilmesine ve uygulanmasına odaklanmaktadır. Agro-endüstriyel atıkların fiziko-kimyasal dönüşümünü mümkün kılan klasik süreçlerle enzimatik teknolojinin 5R felsefesi (azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve onarım) doğrultusunda entegrasyonu, prebiyotikler, organik asitler ve düşük moleküler ağırlıklı peptitler gibi yüksek

katma değerli enerji dışı ürünlerin farmasötik, kozmetik ve gıda endüstrilerine tedarikini artırmak için önemli bir adımdır. Ayrıca, nanoteknoloji, metabolik mühendislik ve çoklu omik platformlarındaki ilerlemeler sayesinde, farklı atık kaynaklarıyla ilişkili biyoktle ve mikrobiyal toplulukların değerini en st düzeye çıkarmak, gelişmekte olan ülkelerin kaynaklarını artırmayı mümkün kılmaktadır.

Referanslar

Abu Yazid, N., Barrena, R., Komilis, D., & Sánchez, A. (2017). Solid-State Fermentation as a Novel Paradigm for Organic Waste Valorization: A Review. *Sustainability*, 9(2), 224. doi:10.3390/su9020224

Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Composition variability of the organic fraction of municipal solid waste and effects on hydrogen and methane production potentials. *Waste Management*, 36, 147–155. doi:10.1016/j.wasman.2014.11.019

Andler, S. M., & Goddard, J. M. (2018). Transforming food waste: how immobilized enzymes can valorize waste streams into revenue streams. *Npj Science of Food*, 2(1), 19. doi:10.1038/s41538-018-0028-2

Araujo, J., Sica, P., Costa, C., & Márquez, M. C. (2021). Enzymatic Hydrolysis of Fish Waste as an Alternative to Produce High Value-Added Products. *Waste and Biomass Valorization*, 12(2), 847–855. doi:10.1007/s12649-020-01029-x

Arya, P. S., Yagnik, S. M., Rajput, K. N., Panchal, R. R., & Raval, V. H. (2022, October 1). Valorization of agro-food wastes: Ease of concomitant-enzymes production with application in food and biofuel industries. *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.biortech.2022.127738

Awasthi, M. K., Azelee, N. I. W., Ramli, A. N. M., Rashid, S. A., Manas, N. H. A., Dailin, D. J., ... Ravindran, B. (2022). Microbial biotechnology approaches for conversion of pineapple waste in to emerging source of healthy food for sustainable

environment. *International Journal of Food Microbiology*, 373, 109714. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109714

Baiano, A. (2014). Recovery of Biomolecules from Food Wastes — A Review. *Molecules*, 19(9), 14821–14842. doi:10.3390/molecules190914821

Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2019, September 1). Sustainable bioconversion of food waste into high-value products by immobilized enzymes to meet bio-economy challenges and opportunities – A review. *Food Research International*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.foodres.2019.04.066

Brady, D., & Jordaan, J. (2009). Advances in enzyme immobilisation. *Biotechnology Letters*, 31(11), 1639–1650. doi:10.1007/S10529-009-0076-4

Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6787–6804. doi:10.1021/acs.jafc.1c07104

Caton, P. A., Carr, M. A., Kim, S. S., & Beautyman, M. J. (2010). Energy recovery from waste food by combustion or gasification with the potential for regenerative dehydration: A case study. *Energy Conversion and Management*, 51(6), 1157–1169. doi:10.1016/j.enconman.2009.12.025

Chakraborty, D., Chatterjee, S., Althuri, A., Palani, S. G., & Venkata Mohan, S. (2023, February 1). Sustainable enzymatic treatment of organic waste in a framework of circular economy. *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.biortech.2022.128487

Chakraborty, D., Karthikeyan, O. P., Selvam, A., Palani, S. G., Ghangrekar, M. M., & Wong, J. W. C. (2022). Two-phase anaerobic digestion of food waste: Effect of semi-continuous feeding on acidogenesis and methane production. *Bioresource Technology*, 346, 126396. doi:10.1016/j.biortech.2021.126396

Chakraborty, D., Karthikeyan, O. P., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2018). Co-digestion of food waste and chemically enhanced primary treated sludge in a continuous stirred tank reactor. *Biomass and Bioenergy*, 111, 232–240. doi:10.1016/j.biombioe.2017.06.002

Chatterjee, S., & Venkata Mohan, S. (2022). Fungal biorefinery for sustainable resource recovery from waste. *Bioresource Technology*, 345, 126443. doi:10.1016/j.biortech.2021.126443

da S. Pereira, A., Souza, C. P. L., Franson, R. C. B., Ferreira, T. F., & Amaral, P. F. F. (2024, October 1). From Agri-food Wastes to Enzyme Production: A Systematic Review with Methodi Ordinatio. *Waste and Biomass Valorization*. Springer Science and Business Media B.V. doi:10.1007/s12649-024-02565-6

EC 2017. (2017). *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, on the implementation of the Circular Economy Action Plan*.

FAO2013. (2013). FAO.

Franssen, M. C. R., Steunenberg, P., Scott, E. L., Zuilhof, H., & Sanders, J. P. M. (2013). Immobilised enzymes in biorenewables production. *Chemical Society Reviews*, 42(15), 6491–6533. doi:10.1039/C3CS00004D

Gedik, Y. (2020). Understanding The Circular Economy: A Theoretical Framework. *Turkish Business Journal* 2717, 1(2)(2020), 13–40.

Gessesse, A., Mulaa, F., Lyantagaye, S. L., Nyina-Wamwiza, L., Mattiasson, B., & Pandey, A. (2011). *Industrial Enzymes for Sustainable Bio-Economy: Large Scale Production and Application in Industry, Environment, and Agriculture in Eastern Africa*. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Haque, M. A., Kachrimanidou, V., Koutinas, A., & Lin, C. S. K. (2016). Valorization of bakery waste for biocolorant and enzyme production by *Monascus purpureus*. *Journal of Biotechnology*, 231, 55–64. doi:10.1016/j.jbiotec.2016.05.003

Ho, K. S., & Chu, L. M. (2019). Characterization of food waste from different sources in Hong Kong. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(3), 277–288. doi:10.1080/10962247.2018.1526138

Imbert, E. (2017). Food waste valorization options: Opportunities from the bioeconomy. *Open Agriculture*, 2(1), 195–204. doi:10.1515/opag-2017-0020

Jegannathan, K. R., & Nielsen, P. H. (2013). Environmental assessment of enzyme use in industrial production – a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 42, 228–240. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.005

Joho, Y., Vongsouthi, V., Gomez, C., Larsen, J. S., Ardevol, A., & Jackson, C. J. (2024). Improving plastic degrading enzymes via directed evolution. *Protein Engineering, Design and Selection*, 37. doi:10.1093/protein/gzae009

Khiari, Z. (2024). Enzymes from Fishery and Aquaculture Waste: Research Trends in the Era of Artificial Intelligence and Circular Bio-Economy. *Marine Drugs*, 22(9), 411. doi:10.3390/md22090411

Kumar, A., & Singh, S. (2013). Directed evolution: tailoring biocatalysts for industrial applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 33(4), 365–378. doi:10.3109/07388551.2012.716810

Lackner, M., Mukherjee, A., & Koller, M. (2023). What Are “Bioplastics”? Defining Renewability, Biosynthesis, Biodegradability, and Biocompatibility. *Polymers*, 15(24), 4695. doi:10.3390/polym15244695

Land, M., Hauser, L., Jun, S.-R., Nookaew, I., Leuze, M. R., Ahn, T.-H., ... Ussery, D. W. (2015). Insights from 20 years of bacterial genome sequencing. *Functional & Integrative Genomics*, 15(2), 141–161. doi:10.1007/s10142-015-0433-4

Liu, Z., de Souza, T. S. P., Holland, B., Dunshea, F., Barrow, C., & Suleria, H. A. R. (2023, March 1). Valorization of Food Waste to Produce Value-Added Products Based on Its Bioactive Compounds. *Processes*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi:10.3390/pr11030840

Longo, A., Fanelli, F., Villano, M., Montemurro, M., & Rizzello, C. G. (2024). Bioplastic Production from Agri-Food Waste through the Use of *Haloferax mediterranei*: A Comprehensive Initial Overview. *Microorganisms*, 12(6), 1038. doi:10.3390/microorganisms12061038

Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Sukumaran, R. K., & Pandey, A. (2017). RETRACTED: Strategies for design of improved biocatalysts for industrial applications. *Bioresource Technology*, 245, 1304–1313. doi:10.1016/j.biortech.2017.05.031

Maina, S., Kachrimanidou, V., & Koutinas, A. (2017a). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 18–23. doi:10.1016/j.cogsc.2017.07.007

Maina, S., Kachrimanidou, V., & Koutinas, A. (2017b, December 1). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.cogsc.2017.07.007

Matsakas, L., Gao, Q., Jansson, S., Rova, U., & Christakopoulos, P. (2017). Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals. *Electronic Journal of Biotechnology*, 26, 69–83. doi:10.1016/j.ejbt.2017.01.004

Mishra, K., Siwal, S. S., Nayaka, S. C., Guan, Z., & Thakur, V. K. (2023). Waste-to-chemicals: Green solutions for bioeconomy markets. *Science of the Total Environment*, 887. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.164006

Molina-Espeja, P., Sanz-Aparicio, J., Golyshin, P. N., Robles-Martín, A., Guallar, V., Beltrametti, F., ... Ferrer, M. (2023). Enzymes for consumer products to achieve climate neutrality. *Oxford Open Climate Change*. Oxford University Press. doi:10.1093/oxfclm/kgad003

Mondal, S., Santra, S., Rakshit, S., Kumar Halder, S., Hossain, M., & Chandra Mondal, K. (2022). Saccharification of lignocellulosic biomass using an enzymatic cocktail of fungal origin and successive production of butanol by *Clostridium acetobutylicum*. *Bioresource Technology*, 343, 126093. doi:10.1016/j.biortech.2021.126093

Nargotra, P., Ortizo, R. G. G., Wang, J. X., Tsai, M. L., Dong, C. Di, Sun, P. P., ... Sharma, V. (2024, July 1). Enzymes in the bioconversion of food waste into valuable bioproducts: A circular economy perspective. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*. Springer Nature. doi:10.1007/s43393-024-00283-7

Ncube, A., Mtetwa, S., Bukhari, M., Fiorentino, G., & Passaro, R. (2023). Circular Economy and Green Chemistry: The Need for Radical Innovative Approaches in the Design for New Products. *Energies*, 16(4). doi:10.3390/en16041752

Pal, P., Singh, A. K., Srivastava, R. K., Rathore, S. S., Sahoo, U. K., Subudhi, S., ... Prus, P. (2024, September 1). Circular Bioeconomy in Action: Transforming Food Wastes into Renewable Food Resources. *Foods*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi:10.3390/foods13183007

Patel, T., Chaudhari, H. G., Prajapati, V., Patel, S., Mehta, V., & Soni, N. (2022). A brief account on enzyme mining using metagenomic approach. *Frontiers in Systems Biology*, 2. doi:10.3389/fsysb.2022.1046230

Prayogo, F. A., Budiharjo, A., Kusumaningrum, H. P., Wijanarka, W., Suprihadi, A., & Nurhayati, N. (2020). Metagenomic applications in exploration and development of novel enzymes from

nature: a review. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1), 39. doi:10.1186/s43141-020-00043-9

Rojas, L. F., Zapata, P., & Ruiz-Tirado, L. (2022, April 1). Agro-industrial waste enzymes: Perspectives in circular economy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.cogsc.2021.100585

Saxena, R. K., Davidson, W. S., Sheoran, A., & Giri, B. (2003). Purification and characterization of an alkaline thermostable lipase from *Aspergillus carneus*. *Process Biochemistry*, 39(2), 239–247. doi:10.1016/S0032-9592(03)00068-2

Schroyen, M., Vervaeren, H., Van Hulle, S. W. H., & Raes, K. (2014). Impact of enzymatic pretreatment on corn stover degradation and biogas production. *Bioresource Technology*, 173, 59–66. doi:10.1016/j.biortech.2014.09.030

Sheldon, R. A. (2020). *Biocatalysis and biomass conversion: Enabling a circular economy: Biocatalysis and Biomass Conversion*. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 378). Royal Society Publishing. doi:10.1098/rsta.2019.0274

Sheldon, R. A., Basso, A., & Brady, D. (2021). New frontiers in enzyme immobilisation: robust biocatalysts for a circular bio-based economy. *Chemical Society Reviews*, 50(10), 5850–5862. doi:10.1039/D1CS00015B

Sheldon, R. A., & Brady, D. (2019). Broadening the Scope of Biocatalysis in Sustainable Organic Synthesis. *ChemSusChem*, 12(13), 2859–2881. doi:10.1002/cssc.201900351

Truppo, M. D. (2017). Biocatalysis in the Pharmaceutical Industry: The Need for Speed. *ACS Medicinal Chemistry Letters*, 8(5), 476–480. doi:10.1021/acsmmedchemlett.7b00114

Tsegaye, B., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2021, June 1). Food waste biorefinery: Pathway towards circular bioeconomy. *Foods*. MDPI AG. doi:10.3390/foods10061174

Uçkun Kiran, E., Trzcinski, A. P., Ng, W. J., & Liu, Y. (2014). Enzyme Production from Food Wastes Using a Biorefinery Concept. *Waste and Biomass Valorization*, 5(6), 903–917. doi:10.1007/s12649-014-9311-x

Vea, E. B., Romeo, D., & Thomsen, M. (2018). *Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy*. In *Procedia CIRP* (Vol. 69, pp. 591–596). Elsevier B.V. doi:10.1016/j.procir.2017.11.062

Yadav, A., Sharma, V., Tsai, M.-L., Chen, C.-W., Sun, P.-P., Nargotra, P., ... Dong, C.-D. (2023). Development of lignocellulosic biorefineries for the sustainable production of biofuels: Towards circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 381, 129145. doi:10.1016/j.biortech.2023.129145

Yong, T. K., Musa, M. N. S., Abdulla, R., Derman, E., Gansau, J. A., & Rajin, M. (2024). Synthesis and characterization of bioplastics, Polyhydroxyalkanoates produced from sugarcane bagasse by using *Bacillus cereus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58, 103181. doi:10.1016/j.bcab.2024.103181

Zou, L., Wan, Y., Zhang, S., Luo, J., Li, Y.-Y., & Liu, J. (2020). Valorization of food waste to multiple bio-energies based on enzymatic pretreatment: A critical review and blueprint for the

future. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124091.
doi:10.1016/j.jclepro.2020.124091

BÖLÜM V

Sarkopeni’li Yaşlı Bireylerde Gıda Alımı ve Beslenme

Tuğba GÜL DİKME¹

Giriş

Yaşlanma süreci insan vücudunda çeşitli fizyolojik ve metabolik değişimlere yol açar. Bu değişimlerden en dikkat çeken kas kütlesi ve fonksiyonundaki kayıplardır. Sarkopeni yaşa bağlı olarak iskelet kası kütlesinin ve gücünün azalmasıyla karakterize bir sendromdur. Bu terim, ilk kez Irwin Rosenberg tarafından 1989 yılında kullanılmış olup günümüzde yaşlı bireylerde yaşam kalitesini düşüren önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir.

Sarkopeni yalnızca bireyin fiziksel gücünü değil, aynı zamanda hareket kabiliyetini, bağımsız yaşamını ve genel sağlığını da etkiler. Bu durum düşme riskini artırır, kırıklarla sonuçlanabilir ve immobiliteye neden olarak bireyin bakım ihtiyacını artırır. Dolayısıyla sarkopeni bireysel düzeyde bir sağlık sorunu olmasının ötesinde, toplumsal maliyetleri olan ciddi bir gerçektir.

¹ Öğr. Gör Dr., Harran Üniversitesi, Siverek MYO, Gıda Teknolojisi Bölümü, Şanlıurfa/Türkiye, Orcid: 0000-0002-2212-6443, t.gul@harran.edu.tr

Beslenme, sarkopeninin önlenmesi ve tedavisinde merkezi bir rol oynar. Yaşlı bireylerde enerji, protein ve mikro besin öğeleri gereksinimleri genç erişkinlerden farklıdır. Yetersiz beslenme sarkopeninin gelişimini hızlandırırken uygun bir diyet müdahalesi kas kütlesi kaybını yavaşlatabilir veya hatta geri çevirebilir. Ancak beslenmenin tek başına yeterli olmayabileceği, fiziksel aktivite ile desteklenmesi gerektiği de unutulmamalıdır.

Bu bölümde yaşlı bireylerde sarkopeninin tanımı risk faktörleri ve beslenme tedavisindeki yaklaşımlar ele alınacaktır. Sarkopeniye özgü beslenme stratejileri, protein alımı, mikro besin öğeleri ve besin desteklerinin rolü incelenecek, ayrıca bireysel ve toplumsal düzeyde uygulanabilir öneriler sunulacaktır.

1. Sarkopeninin Patofizyolojisi

Sarkopeni, yaşlanma sürecinde ortaya çıkan karmaşık biyolojik mekanizmaların bir sonucu olarak gelişir. Kas kütlesi ve gücündeki kayıplar, protein sentezi ile yıkımı arasındaki dengenin bozulmasından kaynaklanır. Yaşlı bireylerde bu denge, çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle yıkım lehine kayar.

Protein Metabolizmasında Yaşlanmaya Bağlı Değişimler: Yaşlanma ile birlikte kas protein sentezi azalırken, protein yıkımı aynı düzeyde devam eder. Bu durum, özellikle yemek sonrası protein sentezinin yeterince tetiklenememesi ile ilişkilidir. Kas proteinlerinin sentezlenmesinde önemli rol oynayan mTOR sinyal yolu, yaşlı bireylerde yetersiz çalışabilir. Ayrıca diyetle alınan protein miktarı ve kalitesi de bu süreci doğrudan etkiler. Özellikle lösin gibi dallı zincirli amino asitler kas sentezini uyarma potansiyeline sahip olmasına rağmen, yaşlı bireylerde bu uyarının azalması önemli bir sorundur.

Nöromusküler Değişiklikler: Kas gücünün korunmasında sinir sistemi ve kaslar arasındaki uyum kritik bir rol oynar. Yaşla birlikte motor ünitelerde kayıp meydana gelir. Motor üniteler kas liflerine sinyal göndererek onların kasılmasını sağlar. Motor nöronların dejenerasyonu, kas liflerinin kullanılamamasına ve

zamanla atrofisine yol açar. Bu süreç özellikle tip II hızlı kas liflerinin kaybı ile kendini gösterir.

Hormonlardaki Değişimler: Yaşlanma ile birlikte büyüme hormonu, testosteron ve östrojen gibi anabolik hormonların seviyelerinde azalma görülür. Testosteron kas protein sentezini destekleyen ve kas kütlesini koruyan önemli bir hormondur. Erkeklerde testosteron seviyesindeki düşüş sarkopeni gelişimini hızlandırabilir. Kadınlarda ise menopoz sonrası östrojen seviyesinin azalması, kemik kaybının yanı sıra kas gücünde de azalmaya neden olur. Büyüme hormonu ve onun aracılığıyla çalışan IGF-1 (İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-1), kas büyümesini uyaran kritik hormonlardır. Yaşla birlikte bu hormonların seviyeleri azalır, bu da kas sentezini olumsuz etkiler.

Kronik İnflamasyon: Yaşlanma sürecinde kronik ve düşük dereceli inflamasyon (inflamaging) yaygındır. Proinflamatuvar sitokinler olan TNF- α , IL-6 ve CRP seviyelerindeki artış, kas protein yıkımını artırır ve kas sentezini baskılar. İnflamasyon aynı zamanda mitokondriyal fonksiyonları da bozarak kasların enerji üretim kapasitesini azaltır.

Mitokondriyal Disfonksiyon ve Enerji Metabolizması: Mitokondriler kas hücrelerinin enerji üretim merkezleridir. Yaşlanma ile birlikte mitokondriyal fonksiyonlarda bozulma ve oksidatif stres artışı gözlenir. Bu durum kas hücrelerinde enerji eksikliğine ve kas atrofisine yol açar. Aynı zamanda oksidatif stres, kas hücrelerinin yapı taşları olan protein, lipid ve DNA'ya zarar vererek kas kütlesinin azalmasına katkıda bulunur.

İnsülin Direnci: İnsülin kas protein sentezini destekleyen anabolik bir hormondur. Ancak yaşlanma ile birlikte insülin direnci gelişebilir ve insülinin kas hücrelerindeki etkisi azalır. Bu durum, amino asitlerin kas dokusuna alımını azaltarak kas sentezinin yetersiz kalmasına neden olur. Özellikle diyabet ve obezite gibi durumlar, sarkopeni riskini daha da artırır.

Oksidatif Stres ve Sarkopeni: Yaşlanma sürecinde artan serbest radikaller hücresel yapıya zarar vererek kas kaybını

hızlandırır. Antioksidan savunma mekanizmalarının zayıflaması, oksidatif stresin etkilerini artırır. Bu süreç, kas hücrelerinin yenilenme kapasitesini azaltır ve sarkopeniye zemin hazırlar.

Sarkopeninin Çoklu Nedenleri: Sarkopeni tek bir faktörden ziyade birçok mekanizmanın bir araya gelmesi sonucu ortaya çıkar. Yaşla ilişkili hormonal değişiklikler, nöromusküler dejenerasyon, inflamasyon ve beslenme yetersizlikleri birlikte değerlendirildiğinde, sarkopeninin nasıl geliştiği daha iyi anlaşılır.

2. Sarkopeninin Tanı ve Değerlendirilmesi

Sarkopeninin doğru bir şekilde tanımlanması ve değerlendirilmesi, hem klinik uygulamalarda hem de toplum sağlığı açısından büyük önem taşır. Sarkopeni sadece kas kütlesinin azalmasıyla değil, aynı zamanda kas gücünde ve fiziksel performansta azalmayla da kendini gösterir. Bu nedenle tanı sürecinde kas kütlesi, kas gücü ve fiziksel performans ölçümlerinin birlikte kullanılması önerilir.

Sarkopeni Tanı Kriterleri

Sarkopeni tanısı için uluslararası rehberler tarafından belirlenmiş kriterler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan tanı kriterleri aşağıda belirtilmiştir.

EWGSOP (European Working Group on Sarcopenia in Older People): Kas gücü kaybını sarkopeninin temel kriteri olarak kabul eder. EWGSOP2'ye göre tanı süreci 3'e ayrılır.

-Kas gücü kaybının değerlendirilmesi (Örneğin el kavrama gücü)

-Kas kütlesi ölçümünün yapılması (DEXA veya Biyoempedans Analizi - BIA)

-Fiziksel performansın ölçülmesi (Örneğin yürüme hızı)

AWGS (Asian Working Group on Sarcopenia): Asya popülasyonuna özgü daha düşük eşik değerlerle tanı koyar.

Bu kriterler ışığında, sarkopeni üç aşamada tanımlanabilir.

Muhtemel Sarkopeni: Kas gücü kaybı vardır.

Sarkopeni: Kas gücü kaybı + düşük kas kütlesi durumu vardır.

Ciddi Sarkopeni: Kas gücü kaybı + düşük kas kütlesi + düşük fiziksel performans vardır.

Kas Gücünün Değerlendirilmesi

Kas gücü sarkopeninin en erken ve en belirgin belirtisidir. Kas gücünün değerlendirilmesi için en sık kullanılan yöntem El Kavrama Gücü (Handgrip Strength) yöntemidir. Bu yöntemde taşınabilir bir dinamometre kullanılarak elin kavrama gücü ölçülür. Bu yöntemde eşik değerler yaşa ve cinsiyete göre değişir. Eşik değer erkeklerde <27 kg, kadınlarda ise <16 kg'dır.

Kas Kütlesinin Ölçümü

Kas kütlesinin ölçümü sarkopeninin tanısında kritik bir rol oynar. Kas kütlesini değerlendirmek için aşağıdaki yöntemler kullanılabilmektedir.

Çift Enerjili X-Ray Absorpsiyometri (DEXA): Kas kütlesini ölçmede altın standart olarak kabul edilir. Kas kütlesi, vücut yüzey alanına oranlanarak hesaplanır.

Biyoelektrik Empedans Analizi (BIA): Yağsız vücut kütlesi ölçülerek kas kütlesi tahmin edilir. Pratik ve maliyet-etkin bir yöntemdir.

Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG): Daha hassas ölçümler sağlar ancak maliyetli ve klinik uygulamalarda yaygın değildir.

Fiziksel Performansın Değerlendirilmesi

Fiziksel performans bireyin günlük yaşam aktivitelerindeki yetisini belirlemek için önemli bir ölçüttür. Fiziksel performansı değerlendiren yaygın testler aşağıda belirtilmiştir.

Yürüme Hızı Testi: Bireyin belirli bir mesafeyi (genellikle 4 metre) yürüme hızı ölçülür. 0,8 m/s'nin altındaki hızlar düşük fiziksel performans olarak kabul edilir.

Short Physical Performance Battery (SPPB): Denge, yürüme hızı ve otur-kalk testlerini içeren bir değerlendirme aracıdır. On iki üzerinden 8 ve altındaki skorlar sarkopeniyi işaret eder.

6 Dakika Yürüme Testi: Bireyin 6 dakika boyunca yürüdüğü mesafe ölçülerek fiziksel dayanıklılık değerlendirilir.

Sarkopeni Tarama Araçları

Sarkopeniyi hızlı bir şekilde tespit etmek amacıyla klinik pratikte aşağıda belirtilen çeşitli tarama araçları kullanılır.

SARC-F Anketi: Kas gücü, yürüme yeteneği, sandalyeden kalkma, merdiven çıkma ve düşme sıklığı ile ilgili 5 sorudan oluşur. Toplam skorun 4 ve üzerinde olması sarkopeni riskini gösterir.

Kısaltılmış SARC-F (SARC-CalF): SARC-F'ye ek olarak baldır çevresi ölçümünü de içerir.

Yaşlı Bireylerde Sarkopeni Tespiti İçin Klinik Yaklaşım

Sarkopeni tarama ve değerlendirme sürecinde aşağıdaki adımlar takip edilmelidir.

Tarama: SARC-F gibi basit araçlarla sarkopeni riski belirlenir.

Kas Gücü Ölçümü: El kavrama gücü dinamometre ile değerlendirilir.

Kas Kütlesi Ölçümü: DEXA veya BIA gibi yöntemlerle kas kütlesi değerlendirilir.

Fiziksel Performans Ölçümü: Yürüme hızı veya SPPB testi ile bireyin fonksiyonel kapasitesi ölçülür.

3. Yaşlı Bireylerde Sarkopeninin Risk Faktörleri

Sarkopeni yaşlanma süreciyle birlikte ortaya çıkan fizyolojik değişimlerin yanı sıra çevresel ve davranışsal faktörlerden de

etkilenir. Bu risk faktörleri kas kütlesi kaybını hızlandırabilir ve sarkopeni gelişimine zemin hazırlayabilir. Aşağıda bu risk faktörleri detaylı şekilde ele alınmıştır.

Beslenme Eksiklikleri

Beslenme eksiklikleri yaşlı bireylerde sarkopeninin en önemli nedenlerinden biridir.

Protein Eksikliği: Protein, kas protein sentezi için hayati önem taşır. Yetersiz protein alımı, kas kütlesi kaybını hızlandırabilir. Yaşlı bireylerde önerilen günlük protein alımı 1.0-1.2 g/kg/gün iken, sarkopeni riski olan bireylerde bu miktar daha yüksek olmalıdır.

Vitamin D Eksikliği: Vitamin D kas fonksiyonu ve protein sentezi üzerinde doğrudan etkili bir mikro besindir. Yaşlı bireylerde vitamin D düzeyleri genellikle düşüktür, bu da kas güçsüzlüğü ve düşme riskini artırabilir.

Omega-3 Yağ Asitleri: Omega-3 yağ asitleri anti-inflamatuar özellikleri sayesinde kas kaybını önlemeye yardımcı olabilir. Balık yağı veya diğer omega-3 kaynaklarının yeterli miktarda alınmaması, kas kütlesi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.

Diğer Mikro Besin Ögeleri: Magnezyum, çinko, E vitamini ve antioksidanlar gibi mikro besin ögelerinin eksikliği, kas protein sentezini olumsuz etkileyebilir ve oksidatif stresin artmasına yol açabilir.

Fiziksel Aktivite Azlığı

Fiziksel aktivitenin azalması sarkopeni gelişiminde kritik bir rol oynar. Düzenli direnç egzersizleri ve fiziksel aktiviteler, kas protein sentezini artırarak kas kütlesini koruyabilir. Ancak yaşlı bireylerde hareketsiz yaşam tarzı, kas protein sentezinin baskılanmasına neden olur. Özellikle immobilité durumları (örneğin uzun süre yatakta kalma), kas kütlesinde hızlı bir kayba yol açabilir.

Yaşlanma ile Değişen Metabolik Hız

Yaşlanma sürecinde metabolik hızın düşmesi enerji gereksinimlerinin azalmasına neden olur. Yaşlı bireyler enerji alımını kısıtladıklarında genellikle protein ve diğer besin öğelerini de yetersiz alır. Bu durum, kas kaybına katkıda bulunabilir. Ayrıca, yaşlanma ile birlikte iştah azalması (anoreksiya of aging) da yetersiz besin alımına yol açarak sarkopeni riskini artırabilir.

Kronik Hastalıklar

Kronik hastalıklar sarkopeninin önemli nedenlerinden biridir.

Diyabet: İnsülin direnci kas protein sentezini baskılayarak kas kaybına yol açabilir. Ayrıca diyabet, inflamasyon seviyelerinin yükselmesine neden olur.

Kalp Hastalıkları: Kalp yetersizliği ve diğer kardiyovasküler hastalıklar hem fiziksel aktivite kısıtlamaları hem de metabolik bozukluklar nedeniyle sarkopeniye katkıda bulunabilir.

Böbrek Yetmezliği: Kronik böbrek hastalığı olan bireylerde üremik toksinler, kas yıkımını hızlandırır. Ayrıca, bu bireyler genellikle düşük proteinli diyetlere yönlendirilir, bu da kas kütlesi kaybına neden olabilir.

Polifarmasi (Çoklu İlaç Kullanımı)

Polifarmasi özellikle yaşlı bireylerde sık karşılaşılan bir durumdur ve kas kütlesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bazı ilaçlar, kas protein sentezini baskılayabilir veya kas yıkımını artırabilir. Örneğin, glukokortikoidlerin uzun süreli kullanımı kas kaybına yol açabilir. Ayrıca, çoklu ilaç kullanımı iştahı azaltabilir, mide-bağırsak sistemi üzerinde yan etkiler yaratabilir ve genel beslenme durumunu olumsuz etkileyebilir.

4. Sarkopenide Beslenme ve Diyet Tedavisi

Sarkopeni, yalnızca fizyolojik yaşlanmanın bir sonucu değil, aynı zamanda müdahale edilebilir bir durumdur. Beslenme tedavisi sarkopeninin önlenmesi ve yönetiminde merkezi bir rol oynar. Uygun beslenme stratejileri, kas protein sentezini artırabilir, kas yıkımını yavaşlatabilir ve kas kütlesinin korunmasına katkı

sağlayabilir. Aşağıda sarkopeniye yönelik beslenme ve diyet tedavisinin temel unsurları detaylandırılmıştır.

Protein ve Amino Asitlerin Rolü

Protein, kas protein sentezinin temel yapı taşı olup sarkopeni tedavisinde anahtar bir besin ögesidir.

Protein İhtiyacı: Yaşlı bireylerde protein ihtiyacı genç erişkinlerden daha yüksektir. Sarkopeni riskini azaltmak için günlük protein alımı 1.2-1.5 g/kg/gün düzeyinde olmalıdır.

Lösın ve Dalı Zincirli Amino Asitler (BCAA): Lösın kas protein sentezini tetikleyen önemli bir amino asittir. Lösın açısından zengin gıdalar (süt ürünleri, yumurta, et ve soya proteinleri) beslenmeye dahil edilmelidir.

Öğün Başına Protein Dağılımı: Protein alımının gün içine dengeli bir şekilde yayılması, kas protein sentezini optimize eder. Her öğünde en az 25-30 gram protein alınması önerilir.

Enerji Alımı

Yetersiz enerji alımı, kas protein sentezini baskılar ve kas kaybını hızlandırır.

Enerji Dengesi: Sarkopeni riski olan bireylerin enerji ihtiyacı, bazal metabolizma hızı ve fiziksel aktivite düzeyine göre belirlenmelidir.

Besleyici Yoğun Gıdalar: Enerji alımı düşük olan bireylerde, yüksek enerji ve protein içeren besinler (tam yağlı süt ürünleri, fındık ezmesi, avokado) kullanılabilir.

Mikro Besin Ögelerinin Rolü

Vitamin D: Kas fonksiyonunu desteklemek için yaşlı bireylerde günlük 800-1000 IU vitamin D alımı önerilir. Eksikliği olan bireylerde takviye yapılmalıdır.

Kalsiyum: Kemik sağlığını desteklemek ve kas kontraksiyonlarını düzenlemek için yaşlı bireylerde yeterli kalsiyum alımı sağlanmalıdır.

Omega-3 Yağ Asitleri: Omega-3 yağ asitleri inflamasyonu azaltarak kas protein sentezini artırabilir. Haftada en az iki kez yağlı balık tüketimi veya omega-3 takviyeleri önerilir.

Antioksidanlar: E vitamini, C vitamini ve polifenoller gibi antioksidanlar oksidatif stresin etkilerini azaltabilir. Taze meyve, sebze ve kuruyemişler bu bileşenlerin iyi kaynaklarıdır.

Besin Takviyeleri

Besin takviyeleri yetersiz beslenen veya ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanan bireylerde kullanılabilir.

Protein Tozları: Yaşlı bireyler için lüsin açısından zengin protein tozları (örneğin peynir altı suyu proteini) etkili bir seçenek olabilir.

Kreatin: Kreatin takviyesi, kas kütlesi ve gücünü artırmaya yardımcı olabilir. Sarkopenik bireylerde kreatin kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, direnç egzersizleriyle birlikte alındığında etkili sonuçlar göstermiştir.

Beta-Hidroksi-Beta-Metilbütirat (HMB): HMB, kas yıkımını azaltan ve kas protein sentezini artıran bir bileşiktir. Özellikle ileri derecede sarkopeni olan bireylerde kullanımı faydalı olabilir.

Yaşlı Bireyler İçin Pratik Beslenme Stratejileri

Kolay Tüketilebilir Gıdalar: Yaşlı bireylerde çiğneme ve yutma güçlükleri sık görüldüğünden, yumuşak ve kolay tüketilebilir gıdalar (örneğin püreler, çorbalar) tercih edilmelidir.

Ara Öğünler: Günlük protein alımını artırmak için besleyici ara öğünler (yoğurt, fındık, haşlanmış yumurta) tüketilebilir.

Lezzet Artırıcılar: İştahı düşük bireylerde baharatlar ve soslar kullanılarak yiyeceklerin lezzeti artırılabilir.

5. Sarkopenide Beslenme Önerilerinin Uygulanması

Sarkopeni tedavisinde başarı, yalnızca genel beslenme prensiplerinin uygulanmasında değil, aynı zamanda bireysel

ihtiyaçlara uygun, pratik ve sürdürülebilir beslenme planlarının oluşturulmasında saklıdır. Bu bölümde, bireyselleştirilmiş beslenme planlarının nasıl oluşturulacağı, pratik beslenme nerileri ve gerçek yaşamdan örneklerle desteklenen klinik yaklaşımlar ele alınacaktır.

Bireyselleştirilmiş Beslenme Planlarının Oluşturulması

Her bireyin beslenme gereksinimleri, yaş, cinsiyet, sağlık durumu, fiziksel aktivite düzeyi ve sarkopeni şiddetine göre farklılık gösterir. Bireyselleştirilmiş beslenme planlarının oluşturulmasında şu adımlar izlenmelidir:

Kapsamlı Değerlendirme: Bireyin beslenme durumu, kas kütlesi ve gücü ölçülerek enerji ve protein gereksinimleri belirlenmelidir.

Hedeflerin Belirlenmesi: Sarkopeniyi önlemek veya yönetmek için kısa ve uzun vadeli hedefler tanımlanmalıdır (rneğin kas kütlesini koruma, fiziksel performansı artırma).

Besin Tercihlerinin Dikkate Alınması: Bireyin beslenme alışkanlıkları, kültürel tercihleri ve yemek hazırlama becerileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygulanabilirlik ve Sürdürülebilirlik: Planlar kolay uygulanabilir ve birey için sürdürülebilir olmalıdır.

Pratik neriler

Sarkopeni tedavisinde beslenme önerilerinin hayata geçirilmesi için şu pratik yaklaşımlar benimsenebilir.

ğn Sayısı ve Protein Dağılımı: Günlük protein alımının eşit bir şekilde üç ana öğüne dağıtılması, kas protein sentezini artırır. Örneğin her ana öğünde yaklaşık 25-30 gram protein hedeflenmelidir. Ara öğünler ile toplam protein alımı artırılabilir. Ara öğünlerde yoğurt, süt, haşlanmış yumurta veya proteince zengin atıştırmalıklar tercih edilmelidir.

Proteince Zengin Besin Alternatifleri: Hayvansal protein kaynakları arasından tavuk, hindi, balık, yumurta, süt ve süt ürünleri (yoğurt, peynir) seçilebilir. Bitkisel protein kaynaklarından ise

mercimek, nohut, fasulye, kinoa ve soya ürünleri (tofu, soya sütü tercih edilebilir. Takviye açısından da ihtiyaç durumunda peynir altı suyu proteini veya lösin açısından zengin protein tozları kullanılabilir.

Kolay Hazırlanabilir ve Tüketilebilir Besin Önerileri

Yumuşak ve Kolay Tüketilebilir Besinler: Çorbalar, sebze püreleri ve smoothie'ler tercih edilebilir.

Tek Tabakla Odaklanma: Protein, karbonhidrat ve sebzelerin bir arada bulunduğu tabaklar hazırlanabilir (örneğin sebzeli tavuk veya peynirli kinoa salatası).

Pratik Tarifler: Haşlanmış yumurta ve avokado tost, yoğurt ve yulaflı meyve kasesi gibi hızlı hazırlanabilir yemekler önerilebilir.

İştah Düşük Bireyler için Çözümler: Kalorisi yüksek ve hacmi düşük besinler (örneğin fındık ezmesi, tam yağlı süt, avokado) tüketilebilir. Baharatlar ve soslarla yemeklerin lezzeti artırılarak iştah açıcı hale getirilebilir.

6. Fiziksel Aktivite ve Sarkopeni Yönetiminde Kombine Yaklaşım

Sarkopeni tedavisinde beslenme ve fiziksel aktivitenin bir arada uygulanması, çok daha etkili sonuçlar doğurur. Beslenme kas protein sentezini desteklemek için gerekli olan yapı taşlarını sağlarken, fiziksel aktivite bu süreci tetikleyen güçlü bir uyarıcı görevi görür. Direnç egzersizleri kas gücünü ve kütlesini artırmada en etkili fiziksel aktivitelerden biridir ve sarkopeniye karşı mücadelede beslenmeyle birleştğinde sinerjik bir etki yaratır. Bu durum, egzersiz sonrası alınan protein ile daha da belirgin hale gelir. Egzersiz sonrası dönemde, kasların anabolik yanıtı daha duyarlı olduğu bir "anabolik pencere" bulunur. Bu süreçte yüksek kaliteli protein tüketimi kas protein sentezini maksimum düzeye çıkarır. Araştırmalar egzersiz sonrası 20-40 gram protein alımının kas gelişimini desteklediğini göstermektedir.

Direnç ve kuvvet egzersizleri yaşlı bireylerde uygulanabilir basit ve etkili yöntemlerdir. Bu egzersizler kas kütlesini korumanın yanı sıra fiziksel performansı ve günlük yaşam aktivitelerindeki hareket kabiliyetini artırır. Direnç egzersizleri genellikle ağırlık kaldırma, direnç bantlarıyla çalışma ve vücut ağırlığı kullanılarak yapılan hareketleri içerir. Örneğin otur-kalk egzersizleri, hem basit hem de işlevsel bir yöntem olarak yaşlı bireylerde sıkça kullanılır. Aynı şekilde tek ayak üzerinde denge çalışmaları gibi egzersizler, kas gücünü artırırken düşme riskini azaltmaya yardımcı olur. Haftada iki veya üç gün uygulanacak bir egzersiz programı yaşlı bireylerin kas kütlesi kaybını önlemek için yeterli bir temel sağlar. Egzersizlerin bireysel kapasiteye göre uyarlanması önemlidir. Örneğin sağlık durumu veya fiziksel kapasitesi sınırlı bireylerde, düşük yoğunluklu ancak düzenli egzersizler tercih edilmelidir.

Fiziksel aktivitenin kas kütlesi üzerindeki olumlu etkileri bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Düzenli direnç egzersizleri, kas kütlesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda inflamasyonun azalmasına ve insülin duyarlılığının artmasına da katkı sağlar. Bunun yanı sıra egzersizlerin metabolizmayı düzenleyici etkisi, kas protein sentezini destekleyen önemli bir mekanizmadır. Egzersizsiz bir yaşam tarzı haline getiren bireylerde, yalnızca kas gücü değil, aynı zamanda denge ve hareketlilik gibi fiziksel performans bileşenlerinde de uzun vadeli iyileşmeler görülmektedir. Örneğin düzenli egzersiz yapan bireylerde, kas gücünde %30'a varan artışlar rapor edilmiştir.

Fiziksel aktivitenin sarkopeni yönetimindeki bu önemi beslenmeyle desteklendiğinde çok daha etkili hale gelir. Egzersiz öncesi ve sonrası dönemde uygun besin alımı, kas kütlesinin korunması ve güçlenmesi için vazgeçilmezdir. Bunun yanı sıra egzersiz programlarının profesyonel bir gözetim altında planlanması, yaşlı bireylerde güvenli ve sürdürülebilir bir uygulama sağlar. Böylece sarkopeni, yalnızca bir sağlık sorunu olarak değil, bireylerin genel yaşam kalitesini artırmaya yönelik bir fırsat olarak ele alınabilir.

Sonuç ve Öneriler

Sarkopeni yaşlanmanın doğal bir sonucu olarak görülen ancak etkili bir şekilde önlenip yönetilebilecek bir durumdur. Bu bağlamda, beslenme, sarkopeninin önlenmesi ve tedavisinde hayati bir rol oynar. Yeterli ve dengeli beslenme, kas protein sentezini desteklerken kas kütlesinin korunmasına katkıda bulunur. Protein alımının artırılması, D vitamini ve omega-3 yağ asitleri gibi mikro besin öğelerinin yeterli düzeyde sağlanması, sarkopeniye karşı alınabilecek en temel önlemlerden bazılarıdır. Ayrıca, beslenme ile birlikte fiziksel aktivite, özellikle direnç egzersizleri, kas gücünü artırarak bireylerin yaşam kalitesini yükseltir.

Sarkopeninin yönetiminde multidisipliner bir yaklaşım benimsenmesi büyük önem taşır. Bu süreçte beslenme uzmanları, fizyoterapistler, hekimler ve hemşirelerin bir arada çalışarak bireye özel bir tedavi planı oluşturmaları gereklidir. Her bireyin beslenme gereksinimleri ve fiziksel kapasitesi farklı olduğu için, müdahaleler kişiselleştirilmelidir. Örneğin, düşük protein tüketimi olan bireylerde günlük protein hedefleri artırılmalı, fiziksel aktivitesi sınırlı bireylerde ise basit ve güvenli egzersizler planlanmalıdır. Bunun yanı sıra, yaşlı bireylerin karşılaştığı iştah kaybı ve çiğneme-yutma güçlükleri gibi durumlara yönelik pratik çözümler geliştirilmesi, tedaviye uyumu artırabilir.

Klinik uygulamalarda beslenme ve yaşam tarzı değişikliklerinin önemi göz ardı edilemez. Yaşlı bireylerde sarkopeninin önlenmesi ve yönetimi, yalnızca bireyin sağlığını değil, aynı zamanda bağımsızlığını ve yaşam kalitesini de etkiler. Dolayısıyla, kas gücü ve kütlesinin korunmasını hedefleyen stratejiler, bireysel ve toplumsal maliyetleri azaltabilir. Bu amaçla, yaşlı bireylerin hem protein hem de mikro besin öğeleri açısından zengin, dengeli bir diyetle desteklenmesi gerekir. Aynı zamanda, düzenli fiziksel aktivite alışkanlığı teşvik edilmelidir.

Sonuç olarak sarkopeni yönetiminde başarılı bir sonuç elde edebilmek için beslenme ve fiziksel aktiviteye dayalı bütüncül bir yaklaşım gereklidir. Bu yaklaşım, yalnızca sarkopeniyle mücadele etmekle kalmaz, aynı zamanda yaşlı bireylerin daha sağlıklı,

bağımsız ve aktif bir yaşam sürmelerine olanak tanır.

Kaynaklar

Chen, L. K., Arai, H., Assantachai, P., Akishita, M., Chew, S. T. H., Dumlaio, L. C., Duque, G., & Woo, J. (2022). Roles of nutrition in muscle health of community-dwelling older adults: Evidence-based expert consensus from Asian Working Group for Sarcopenia. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(3), 1653-1672.

Cochet, C., Belloni, G., Buondonno, I., Chiara, F., & D'Amelio, P. (2023). The role of nutrition in the treatment of sarcopenia in old patients: From restoration of mitochondrial activity to improvement of muscle performance, a systematic review. *Nutrients*, 15(17), 3703.

Cruz-Jentoft, A. J., Landi, F., Schneider, S. M., Zúñiga, C., Arai, H., Boirie, Y., Chen, L. K., Fielding, R. A., Martin, F. C., Michel, J. P., Sieber, C., Stout, J. R., Studenski, S. A., Vellas, B., Woo, J., Zamboni, M., & Cederholm, T. (2014). Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: A systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age and Ageing*, 43(6), 748-759.

Laviano, A., Gori, C., & Rianda, S. (2014). Sarcopenia and nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research*, 71, 101-136.

Morley, J. E. (2016). Frailty and sarcopenia in elderly. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 128(Suppl 7), 439-445.

Morley, J. E. (2016). Frailty and sarcopenia: The new geriatric giants. *Revista de Investigación Clínica*, 68(2), 59-67.

Papadopoulou, S. K. (2020). Sarcopenia: A contemporary health problem among older adult populations. *Nutrients*, 12(5), 1293.

Prado, C. M., Batsis, J. A., Donini, L. M., Gonzalez, M. C., & Siervo, M. (2024). Sarcopenic obesity in older adults: A clinical overview. *Nature Reviews Endocrinology*, 20(5), 261-277.

Rogeri, P. S., Zanella Jr., R., Martins, G. L., Garcia, M. D. A., Leite, G., Lugaresi, R., Gasparini, S. O., Sperandio, G. A., Ferreira, L. H. B., Souza-Junior, T. P., & Lancha Jr., A. H. (2021). Strategies to prevent sarcopenia in the aging process: Role of protein intake and exercise. *Nutrients*, 14(1), 52.

Tezze, C., Sandri, M., & Tessari, P. (2023). Anabolic resistance in the pathogenesis of sarcopenia in the elderly: Role of nutrition and exercise in young and old people. *Nutrients*, 15(18), 4073.

Wang, Z., Xu, X., Gao, S., Wu, C., Song, Q., Shi, Z., Su, J., & Zang, J. (2022). Effects of internet-based nutrition and exercise interventions on the prevention and treatment of sarcopenia in the elderly. *Nutrients*, 14(12), 2458.

Wu, P.Y., Huang K.S., Chen K.M., Chou C.P., & Tu Y.K.(2021). Exercise, nutrition and combined exercise and nutrition in older adults with sarcopenia: A systematic review and network meta-analysis.*Maturitas*,145:38-48.

BÖLÜM VI

Gıdaların Ambalajlanmasında Biyobozunur Materyallerin Kullanımı

Zeliha Gözde KAYA¹
Sami Gökhan ÖZKAL²

1. Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılına ulaşıldığında 10 milyara çıkması beklenmektedir. Bu durum küresel düzeyde gıda talebini karşılamak için yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Gıda üretirken karşılaşılan yeni riskler göz önüne alındığında karşılaşılan en büyük zorluk yüksek kaliteli güvenli gıda üretebilmektir. Çevresel koşulların daha kötüye gittiği, toprağın ve suyun kirlendiği iyi tarım uygulamalarının sürdürülebilirliğinin güçleştiği bildirilmektedir (IUCN, 2024). Temiz ve güvenilir gıda kaynaklarına ulaşmak başlı başına bir çevre sorunu iken gıda güvenilirliliğinin tamamlayıcısı gıda ambalajları ve ambalaj kalitesi ve onun çevreye olan etkileri de beraberinde gelen bir konudur.

¹ Tarım ve Orman Bakanlığı Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı Başmüfettişi, Ankara/Türkiye, Orcid: 0009-0002-3856-6379, zgk05.01.1985@gmail.com

² Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli/Türkiye, Orcid: 0000-0001-5040-9814, sgozkal@pau.edu.tr

Ambalaj atıkları, tüm dünyada çevresel sorunların başında gelmektedir. Bu bağlamda, ambalaj talebinin yerine getirilmesinde sürdürülebilir kaynaklardan elde etme yöntemleri önem kazanmaktadır (Köse, 2024). Petrol kaynaklı materyallerin gıda ambalaj malzemesi olarak tercih edilmesi çevresel döngü olarak sürdürülebilir değildir. Atıkları çevre tahribatına sebep olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı son dönemlerde biyobozunur ve biyobazlı polimerler, toprakta kolay çözünebilen kaynaklardan mikrobiyolojik ve biyoteknolojik yollarla elde edilebilmelerinden dolayı önem kazanmıştır. Bahsedilen polimerler, gıda sanayi atıklarından ya da doğada hazır bulunan kitin, pektin, protein ve nişasta, gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir. Buna göre biyobozunur polimerler ile üretilen biyobozunur ambalajlar alternatif olarak görülmektedir (Karakuş & ark., 2022). European Bioplastics tarafından Nova-Institute ile işbirliği içinde derlenen en son pazar verilerine göre, Küresel biyoplastik üretim kapasitesinin 2023'te yaklaşık 1,05 milyon tondan 2028'de yaklaşık 2,83 milyon ton seviyesine çıkması beklenmektedir (Anonim, 2024a).

Bu bölümde biyobozunur ambalajlar hakkında bilgilendirme yapılıp, yabancı ülkelerde konunun ele alınışı ve Türkiye'nin konuya bakışı ve elde ettiği gelişmeler değerlendirilmiştir.

Gıdaların Ambalajlanmasının Önemi

Tarımsal hammaddeler ister bitkisel ister hayvansal kökenli olsun en nihayetinde biyolojik materyaller olup, üretim sahası dışında da farklı biyolojik, mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimlere açıktır. Bu nedenle taze hammaddenin işlenme zorunluluğu korunaklı bir ambalajlama işlemini de beraberinde getirmektedir (Kaya, 2019). Türk ekonomisinin temelini oluşturan zirai faaliyetlerin multidisipliner olduğu görülmektedir. Şöyle ki uygun yöntemlerle hasat eden, işleyen, muhafaza eden ve ambalajlayan olmak üzere farklı alanların katkısıyla bir ürün ortaya çıkarılabilmektedir (Başaran, 2010).

İşlenmiş veya yarı işlenmiş gıda ürünü denildiğinde hasat edilen tarım ürünlerinin gıda endüstrisi içerisinde yer alan bir veya

daha fazla işleme tekniği ile son ürüne dönüştürülmesi kastedilmektedir. Sözü edilen gıdanın ön işlemleri ayıklama, yıkama, eleme gibi ilk işlemlerden başlamak üzere; ısıt uygulamalar, filtre etme, fermente etme gibi ana işleme yöntemlerini de içine almaktadır. Nihayete ulaştığımızda ambalajlama, depolama, transfer/depolama olarak kümelenebilmektedir (Aydın & ark., 2023).

Üretim hattının sonuna ya da tüketime en yakın duruma gelen gıda maddesi, ambalajlama ünitesine geçmektedir. Ambalaj materyali gıdaların etrafını sararak dış ortamın zararlı etkilerinden, taşıma ve dağıtım sırasında oluşabilecek hasarlardan korunması, ve depolamaya elverişliliğin sağlaması gibi işlevleri yürütmektedir. Ayrıca bunların yanı sıra gıda maddesinin içeriği hakkında bilgi sağlayarak tüketicilerle sessiz bir iletişim kurmaktadır ki bu durum tüketiciyi daha yakından ilgilendirmektedir. Günümüzde ambalaj ayrıca ürünü marketing hemcinslerinden farklılaştırıp, endüstriyel tasarım, işlev ve şekil yönünden görünürlüğünü artırarak tüketiciye albenili göstermede önemli rol oynamaktadır (Akkemik & Güner 2020).

Sürdürülebilir Çevre ve Döngüsel Ekonomi

Türk Dil Kurumu sözlüğü sürdürülebilirliği “sürdürülür olma hali” olarak tanımlamıştır (Anonim 2024c). Gıda ambalaj malzemelerinde sürdürülebilirlikte yaygın olarak; poli laktik asit (PLA), polikaprolakton (PCL) ve polihidroksi bütirat (PHB) olmak üzere üç ana materyal kullanılmaktadır. Biyolojik orjinli biyopolimerler, çevresel olarak daha sürdürülebilir çözümler sunarak sera gazı emisyonunu azaltmayı desteklemektedir. Elde etme maliyeti bakımından biyopolimerler genellikle fosil yakıt bazlı polimerlere göre daha ucuz ve biyolojik olarak parçalanma özelliğine sahiptir. Ayrıca geri dönüştürülebilir plastiklerde sıfırdan ürün oluşturma geri toplanma ve geri kazanım maliyetlerinin altında olabildiği bildirilmiştir (Ojha & ark., 2015).

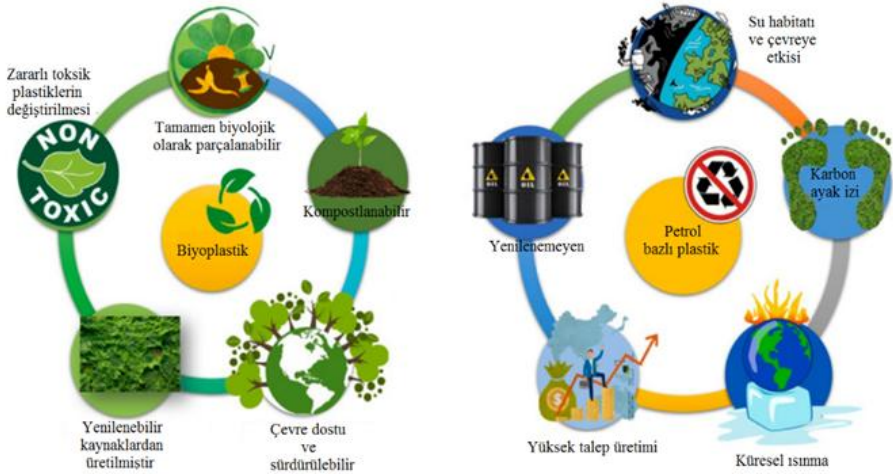
Plastik, eliğin birinci sanayi devriminde olduğu gibi, ikinci sanayi devriminin ekonomik direğinin dayandığı referans malzeme değildir. Ancak yine de plastik tüm sanayi ve dijital teknolojilerin endüstriyel üretimlerine bir noktadan dahil olan bir hammadedir. Bu noktada plastik sanayisi ile istenildiği gibi kontrol edilip yönetilemeyen, büyük ölçekli bütünsel bir endüstriyel sistem ve buna bağlı bir ekosistem meydana getirilmiştir. Tüketicici ihtiyaçları ve kolektif etikle desteklenen, kendi kendini üreten bir oluşum kastedilmektedir. Çevreci yaklaşım tümden gelen bir çözüm arayışı ile ambalaj sanayisinin sadece çevresel sorunları değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği de göz önüne alan bir arayışa girmektedir (Bersani, 2024; Köse, 2024).

Biyobozunur Ambalajın nemi

Plastik atıklarının Dünya'nın neredeyse 7. kıtasını oluşturması, son yıllarda tüketicilerin ve üreticilerin plastik ambalaj kullanımının çok masum olmadığını göstermiştir. Bunun bir sonucu olarak günümüzde biyobozunur ambalaj üretimi konusundaki çalışmaların artmasıyla biyobozunur malzemelerin plastik endüstrisinde kendisine yer bulma oranı %10-30 arasında değişmektedir. Petrol kaynaklarının kıtlaşması, enerji zengini ülkelerin çıkar çatışmaları petrol fiyatlarının artmasına zemin hazırlamış ve plastiğin hammaddesi petrol sanayi yan ürünlerinin de maliyetlerini artırmıştır. Diğer taraftan sanayi çıktısı olan zehirli sera gazları ve karbondioksit emisyonları gibi çevresel sorunlar da biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin üretimini teşvik etmektedir (Moshood & ark., 2022; Dursun, Erkan & Yesiltas 2010).

Biyoplastikler, petrokimya bazlı plastiklerin yarardan çok zarara neden olmasından dolayı daha iyi bir alternatif olarak düşünülmektedir. Biyoplastikler yenilenebilir kaynaklardan elde edilen daha sağlıklı kırsal ekonomilerde de sürdürülebilir düşük karbon ayak izine yol açan materyallerdir. şekil 1'de de görülebileceği gibi petrol bazlı plastikler biyolojik olarak

parçalanamaz, yenilenemez ve zararlı gazların salınımı nedeniyle sağlığa zararlı sorunlara neden olmaktadır (Agarwall & ark., 2023).



Şekil 1: Fosil yakıtlardan elde edilen ambalajlar ile biyobozunur ambalajların kıyaslanması (Chong & ark., 2021)

Yaşadığımız yerkürenin kaynaklarının sonsuz olmadığı gerçeği dikkate alındığında geri dönüştürülebilir materyellerden üretilmiş ve gıda güvenliğini sağlayan sürdürülebilir ambalajların tercih edilmesi insanlığın geleceği için önemlidir (Chong & ark., 2021).

Biyobozunur plastiklerin tanımı ve sınıflandırılması

Güncel çalışmalarda biyopolimerlerin “Yeşil Polimerler” olarak adlandırıldığına rastlanmaktadır. Farklı görüş ve tanımlar bulunmakla birlikte; biyopolimerler; tabii ortamda, mikro canlılar tarafından enzimatik reaksiyonlar sonucunda karbondioksit ve su gibi doğal moleküllere kadar ayrıştırılabilen polimerlerdir. Besin zincirinin üretkenleri yeşil bitkiler, yine bu zincirin farklı noktalarına dahil olan çeşitli hayvanlar, mikro canlılardan bakteriler ve

mantarlar tarafından, yaşam döngüsü esnasında üretilebilen temel yapılardır. Kompleks ya da son derece yalın organizmaların yaşam döngüsü esnasında tabii yollarla meydana gelen polimerler biyokütle tarafından doğal süreç içerisinde parçalanmaktadır. Ayırışan bileşenler çevre kirliliğine sebebiyet vermeyecek şekilde dönüşüme uğradıkları için yeşil materyaller deyimi ile açıklanmaktadır (Armento & ark., 2013; Singh, 2011; Rao, Bharathi & Akila., 2014).

Biyopolimerlerin ne olduğunu anlamak, öncelikle onların diğer kullanılan petrokimya kaynaklı polimerlerden ayrıştırılması ile mümkün olacaktır. Gıdalarda ambalaj malzemesi olarak kullanılmakta olan bu petrokimyasal yöntemlerle elde edilerek hammadde oluşturulan polimerler yüksek, düşük ve lineer düşük yoğunluklu polietilen (HDPE, LDPE ve LLDPE), polistiren (PS), polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) gibi materyallerdir. Bu polimerler, gıda ambalajlarında matris ve substrat olarak kullanılan ve sentetik yapıda olup doğal ortamın koşullarında bozunmayan yapılardır. Çevreci faydasal yönü, ekonomisi ve kalkınma sürdürülebilirliğini sağlamak için gıda ambalajlarında, biyopolimerler kullanımı yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Polilaktik asit (PLA), polikaprolakton (PCL), polihidroksi butirat (PHB) yaygın olarak kullanılan biyopolimerlerdir (Jafarzadeh & ark., 2020; Caferoğlu, 2021).

Biyolojik olarak parçalanabilen ve bozunmaya uğradığında çevreye zarar vermeyen polimerler üretim yöntemlerine göre; tamamen biyokütle bazlı (yenebilir) kaynaklardan elde edilenler (nişasta, selüloz, protein, bitkisel yağlar), çoğunluğu bakteriler olmak üzere mikroorganizmalar ve gen aktarımı yapılmış mikroorganizmalar tarafından poli- β -hidroksialkonat (PHA) ve poli- β -hidroksibütirat (PHB) oluşturanlar, alglerin metabolik yan ürün olarak petrol türevli kaynaklarından (fosiller) elde ettiği polikaprolakton (PCL), polibütülanadipatteraftalat (PBAT) oluşturanlar ve biyoteknolojik yöntemlerle biyolojik kökenli petrol

karışımlarından polilaktikasit (PLA) oluşturanlar olmak üzere dört grupta sınıflandırılabilirler (Şekil 2) (Kılınç, Tomar & Çağlar, 2017).

Nişasta, doğrusal bir yapıya sahip olan amiloz ve dallanmış bir yapı gösteren amilopektinden oluşur. Bu özellikleri sayesinde, nişasta biyobozunur film üretiminde yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Ancak, nişastanın suyu sevmesi, mekanik özelliklerini zayıflatmakta ve su oranı yüksek gıdalar için ambalaj üretiminde sınırlamalara neden olmaktadır (Jimenez ve diğ., 2012). Bu durum, nişastanın farklı malzemelerle karıştırılmasını gerektirmiştir. Polivinil alkol (PVA), karboksimetil selüloz (CMC) gibi plastikleştiriciler ve ksantan gibi jelleştiriciler, nişasta bazlı ambalaj malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek için kullanılmıştır. Kitosan, hem film oluşturma kapasitesini artırması hem de antibakteriyel ve antifungal özellikler kazandırması nedeniyle bu tür malzemelere sıklıkla eklenmektedir (Bie & ark., 2013; Hu & ark., 2016).

Kitosan, kabuklu deniz hayvanlarının ve mantarların taş hücreli duvarlarından elde edilen bir polisakkarittir. Doğal antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olması nedeniyle kitosan, biyobozunur film üretiminde önemli bir malzeme olarak öne çıkmaktadır. Ancak, kitosan tek başına yeterli mekanik dayanımı sağlayamadığı için film matrisine uygun plastikleştiriciler eklenmesi gereklidir. Kitosanın nanoAg, nanoZnO ve nanoTiO₂ gibi nanomalzemelerle birleştirilmesi, mekanik dayanımın artırılmasına ve antibakteriyel özelliklerin güçlendirilmesine olanak sağlamıştır (Zhang & ark., 2017; Al-Naamini Dobretsov & Dutta, 2016).

Üretim Yöntemlerine Göre Biyoplastiklerin Sınıflandırılması

Biyokütle Bazlı Materyallerden

- Yenilebilir kaynaklardan elde edilirler.
- Nişasta, aljinat, kitin, kitosan, selüloz, pektin
- Proteinler (soya, gluten, jelatin)
- Yağlar

Fosil Bazlı Materyallerden

- Petrol türevli kaynaklardan üretilirler, petrol bazlı monomerler üretilir.
- Polikaprolakton (PCL) ve poli-bütılan adipattertelaftalat (PBAT) üretilir.
- Biyoplastikler bazı alg türleri tarafından biyobazlı plastiklere dönüştürülür.

Biyoteknolojik Yöntemlerle

- Biyolojik kökenli maddeler ile petrol bazlı (fosiller) karışımların birlikte kullanılması ile biyoteknolojik desteklerle polilaktik asit (PLA) üretilmesidir.

Miroorganizmalar Tarafından

- Miroorganizmalar doğal yollardan yenilebilir kaynakları poli- β -hidroksialkonat (PHA) ve poli- β -hidroksibütirat (PHB)'ye metabolize ederler.

Şekil 2: Biyoplastiklerin sınıflandırılması (Kılınç, Tomar & Çağlar, 2017).

Selüloz ve pektin bazlı malzemeler, geçirgenlik ve dayanıklılık özelliklerini artırmak için plastikleştiriciler ile modifiye edilmektedir. Ayrıca, nanoselüloz kristalleri ve karboksimetil selüloz (CMC) gibi katkı maddeleri, bu tür malzemelerin dayanıklılığını ve işlevselliğini daha da artırmaktadır (Härdelin & ark., 2020). Pektin, turuncgillerin kabuklarından, elma dokularından ve şeker pancarından elde edilen bir

heteropolisakkarittir. Pektin bazlı biyobozunur filmler, su oranı yüksek meyve ve sebzelerin oksidasyon hızını azaltmak ve solunum hızlarını kontrol etmek gibi avantajlar sağlamaktadır (Atalay, Türken & Erge., 2018; Thakur & ark., 2019).

Protein bazlı biyopolimerler, aminoasit çeşitliliği ve farklı morfolojik yapılarıyla biyobozunur ambalajlarda sıklıkla tercih edilen bir malzeme türüdür. Bu proteinlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, aminoasitlerin türüne ve dizilimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hayvansal kaynaklardan elde edilen jelatin, kazein ve peynir altı suyu proteini; bitkisel kaynaklardan ise soya proteini, mısır koçanı zeini ve buğday gluteni, ekonomik biyobozunur film üretimi için kullanılmaktadır. Ancak bu protein bazlı filmlerin kırılabilirlik gibi sorunları bulunmaktadır. Montmorillonit, ZnO ve nano gümüş partikülleri gibi katkılarla bu filmlerin mekanik dayanımları artırılmaktadır (Denavi & ark., 2009; Gupta & Nayak, 2015).

Nanoteknoloji ile modifiye edilen biyobozunur malzemeler, dayanıklılık ve işlevsellik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Nanokompozitler, selüloz nanokristalleri ve aljinat polimerlerinden hazırlanan filmlerle mekanik dayanımı artırmaktadır. Ayrıca, şeker kamışı küspesinden elde edilen karboksimetil selüloz (CMC) bazlı malzemeler, düşük su buharı geçirgenliği ve yüksek biyolojik parçalanabilirlik özellikleriyle öne çıkmaktadır (Yaradoddi & ark., 2021).

Biyolojik polimerler üzerine yapılan araştırmalar, PHB üretimi açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. PHB üretimi, farklı mikroorganizmaların seçilmesi ve bunların genetik özelliklerinin geliştirilmesi ile artırılabilir. Özellikle göl, deniz ve karasal bölgelerden elde edilen mikroorganizmaların incelenmesi, PHB üreten yeni türlerin keşfedilmesini sağlamıştır. Değişken karbon kaynaklarında gelişebilen mikroorganizmalar ve gen aktarımı yapılan bitkisel denemeler de PHB üretiminde umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır (Mercan & Beyatlı, 2004).

Biyobozunur Plastiklerin Fonksiyonlarına Göre Yaygın Kullanım Alanları

Biyobozunur plastikler, gıda sektöründe çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilir uygulamaları desteklemek amacıyla kullanımlarının yanı sıra kullanılan gıdanın gereksinimlerini karşılayabilmesi amacıyla farklı fonksiyonlar edinmek zorundadır. Gıda poşetleri daha çok taşıma, gıda film plastikleri ambalaj filmlerine dönüşerek gıdaların tazeliğini korumak için uygun ambalaj yapımına dönüşmektedir. Tek kullanımlık ürünler olarak biyobozunur tabak, çatal-kaşıklar ve bardaklar toplu tüketim alanlarında gıda sunumunu güvenli hale getirmektedir. Biyobozunur plastiklerden üretilen saklama kapları, gıdaların depolanması ve taşınması için uygun fonksiyonlar üstlenmektedir. Biyobozunur malzemelerden yapılan kutular ve kaplar, gıda ürünlerini korumak için kullanılabilirken hassas gıda ürünleri için kullanılan, biyobozunur özellikteki şok emici ambalajlarda biyobozunur malzemelerden üretilmektedir. Sayılan kullanım alanlarındaki fonksiyonlarına ilaveten biyobozunur etiketler, gıda ürünlerinin izlenmesi amacıyla kullanılabilir.

Biyobozunur Ambalaj Üretim Yöntemleri

Biyobozunur film üretiminde yaygın olan yöntemler kuru ve ıslak yöntem olarak bilinen ekstrüzyon ve dökme yöntemidir.

Kuru yöntem olarak tabir edilen biyobozunur ambalaj üretiminde düşük nem içeriği koşulları ile ekstrüzyon işlemi bir arada sağlanmaktadır. Termoplastik biyopolimerler, ekstrüzyon makinelerinde ya da basınçla yapılan kalıplama yöntemleri kullanılarak yapıya şekil verirken moleküler yapısının bozulmadığı sıcaklıkta işlem yapılmaktadır. Bu sıcaklık camısı geçiş sıcaklığı olarak tanımlanan sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Belirli bir şekli olmayan polimerlerin camısı geçiş sıcaklıklarının üzerinde ısıtılması onları tam plastik olmayan kauçuğumsu bir hale sokmaktadır. Termoplastik özellikteki karışım matrisin soğutma işlemlerinden sonra yapısı film denilen ince bir steç yapı oluşturmayı mümkün kılmaktadır. Biyobozunur nişasta ve protein esaslı karışım ve eriyiklerden oluşan ambalaj filmleri kuru yöntem ile üretilmektedir. Yaygın olmamakla birlikte bazı proteinler, tek başlarına

termoplastik davranışa sahiptir. Bu gibi proteinler başka bir işlem görmeksizin film oluşturabilmektedir. Diğer çoğunlukta kalan proteinler ve nişastalar işlenmeden önce plastikleştirilmelidir. Ekstrüzyon yöntemi, biyopolimer ambalaj üretimi için yüksek verimi sebebiyle tercih edilmektedir. Kuru yöntem uygulamaları, daha fazla ekipman gerektirmesine rağmen, ıslak yöntemle oranla birtakım üstünlükleri bulunmaktadır. Gıda ambalaj üretiminde endüstriyel uygulamaya daha yakın hatta çok benzer niteliktedir. Üretilen filmlerde çapraz bağlı film ağı oluşturarak ortaya çıkan filmlerin çözünürlüğü azalmakta, nem içeriği yüksek olan gıdaların ambalajlanmasını mümkün hale getirmektedir (Rhim & Ng, 2007).

Islak yöntemle biyobozunur ambalaj karışımları çözgenlerden geçirildiği için, kısmi olarak akıtma veya durulama yapılması nedeniyle dökme yöntemi denmektedir. Hazırlanan biyopolimere su, alkol veya organik bir çözücü de çözündürme işlemi yapılmaktadır. Kaplamada kullanılacak çözücü tıpkı yenilebilir filmlerin üretiminde olduğu gibi gıda sınıfı çözücülerden olmalıdır. İçme suyu, etanol ya da bunların bileşimi ile oluşturulan çözgenlerden en iyi sonuçlar alınmaktadır. Ambalaj filmi çözeltisi hazırlanırken ısı uygulamak veya pH ayarlaması yapmak gerekmektedir. Çözeltinin kurutulması yüzeye veya ısıtıcılı bir kurutucu üzerine dökülerek yapılmaktadır. Islak yöntemde üretilen ambalaj filmin niteliğini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlere bakarsak; biyobozunur polimerin yapısı, polimerin yöntemle etkileşim derecesi, prosesin kurutma hızı, kurutma sıcaklığı, işlemin nem oranı, kullanılan çözücü tipi, plastikleştirici türü/derişimi ve pH olarak sıralanabilmektedir (Rhim & Ng, 2007; Martinez-Camacho, 2013).

Plastiklerin ve Biyoplastiklerin Geridönüşümü

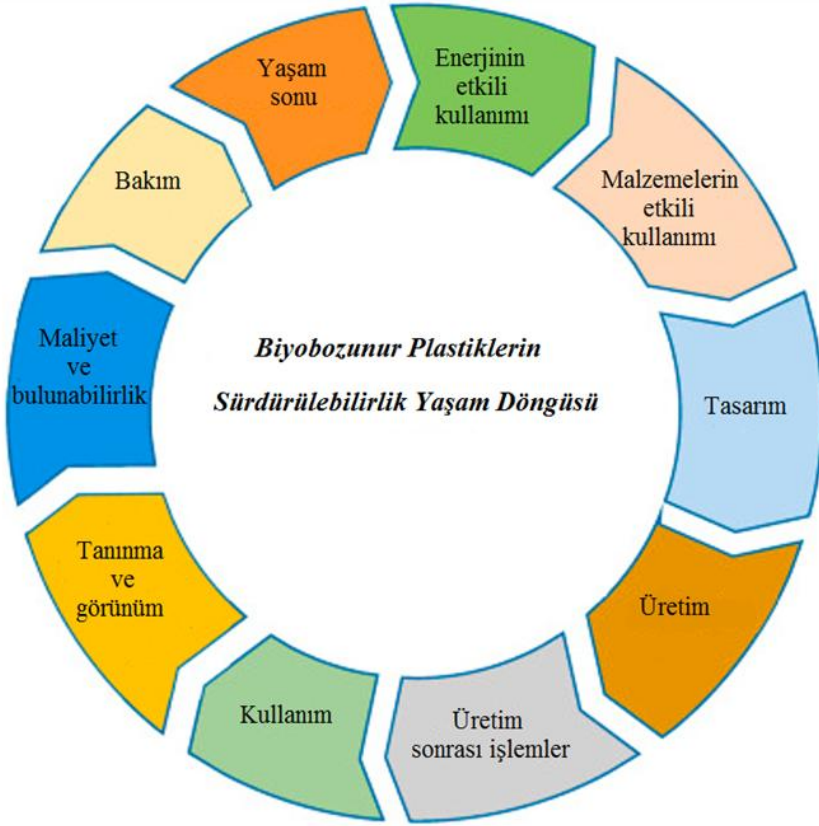
Avrupa Biyoplastikleri (EUBP), AB Komisyonu'nun Avrupa çapında iddialı bir döngüsel ekonomi uygulayarak geleneksel doğrusal ekonomi modelini (yap, kullan, bertaraf et) değiştirme çabalarını memnuniyetle karşılamaktadır. Biyoplastikler ve özellikle biyolojik olarak parçalanabilen plastikler, öngörülen döngüsellik modelinin uygulamaya konulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Endüstriyel kompostlama tesislerinde işlenebilen plastikler için geridönüşüm kısmen mümkün kabul edilmektedir. Anaerobik çürütme tesislerinde biyogaz üretimine katkıda bulunabilen biyolojik olarak parçalanabilen plastiklere Avrupa standardı EN 13432 ile uyumlu olarak atıfta bulunmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilirlik için çeşitli standartlar, sertifikasyon şemaları ve etiketler halihazırda yürürlüktedir ve yeni standartlar geliştirilmektedir (Anonim, 2024b).

Plastiklerin Avrupa’da geridönüşüm standartlarını incelersek; malzemelerin geridönüşümünün Avrupa standardı EN 13430 ve EN 16848’de ve (ISO 18604) kullanılmış bir ürün malzemesinin yeni bir ürüne yeniden işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Tüketiciler tarafından kullanıldıktan sonra plastikler toplanabilir, ayrıştırılabilir ve yeni ürünler olarak yeniden işlenebilir. Bu geridönüşüm türüne mekanik geridönüşüm denmektedir. Diğer ise polimer üretimi için tekrar kullanılacak monomerlere parçalanarak kimyasal dönüşümdür. Standart prosesinde PLA hidrolize edilerek laktik aside dönüştürülmektedir (Looplife, 2016).

AB’nin 20.12.1994 tarihli ve 94/62/EC sayılı Katı Atıkların Bertaraf Direktifi içeriğinde kompostlama ve anaerobik çürütme (biyogazlaştırma) malzeme geridönüşümünün özel bir şekli olarak kabul edilir ve bazen “Organik Geridönüşüm” olarak tanımlanmaktadır. Hollanda Ulusal Atık Yönetim Planı 2017-2029’da (LAP3), organik malzemenin komposta dönüştürülmesi bile malzemeye eşdeğer olarak kabul edilmektedir. Geridönüşüm prosesi LAP3, 2017’ye göre enerji geri kazanımı ve ürünün yakıt olarak kullanılması dikkate alınmaz ve geridönüşüm, belirli plastik atık akışları için iyi bir seçenek olsa da yeniden kullanım, ambalaj ürününün tekrar kullanılması anlamına gelmemekte olduğu belirtilmektedir. Geçmişte Hollanda’da büyük PET şişeleri yeniden kullanılma çalışmalarını ilk başlatan ülke olmuştur. Günümüzde bu geri dönen PET şişeler mekanik olarak geri dönüştürülmektedir. Depozito yöntemi ile geri ödeme işlemi yapılan cam şişeleri hala piyasada dolanımı sürmektedir (Van den Oever & ark., 2017).

Biyobozunur ambalajların sürdürülebilir yaşam döngüsü Şekil 3’te özetlenmiştir.



Şekil 3: Biyobozunur ambalaj materyallerinin sürdürülebilir yaşam döngüsü (Moshood & ark., 2022).

Biyobozunur ambalajların dezavantajları

Doğal ortamda biyolojik etkilerle parçalanabilen plastiklerin gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılması için sadece gıda ambalajları alanında değil; kozmetik, tıp, tekstil gibi farklı alanlarda da çalışmalar yapılmakta, ancak yüksek maliyetleri ve ar-ge gerektiren başarı hedefleri nedeniyle hedeflenen endüstriyel kullanım sınırlanmaktadır.

Çevre dostu özelliklerinin yanında endüstriyel üretimini kısıtlayan bazı dezavantajları bulunmaktadır. Gıda ambalajlarında mekanik dayanıklılık, gaz ve su buharı bariyer özelliklerinin istenilen seviyede olması gıdayı raf ömrü tayinine uygun depolama yapmaya elverişli hale getirecektir. Biyobozunur protein ve polisakkaritlerden oluşan filmlerin geçirgenliği kalite unsurlarını kötüleştirmeyen kabul edilebilir sınır aralığında olması gerekmektedir. Oksijen geçirgenliği, gaz bariyer özelliğinin ve mekanik dayanımının iyi olması gerekmektedir. Suya dayanıklılığı düşük olan yapılarından dolayı su buharı bariyer özellikleri kabul edilebilir düzeyde bulunmamaktadır. Bu özellikleri biyobozunur ambalajın kullanım alanlarını kısıtlamaktadır (Köker, 2021).

Kentsel nüfus alanlarının yayılması ile Türkiye’de ve Dünyadaki tarım alanlarının tarım dışı gereksinimlere açılması söz konusu olmaktadır. Nişasta ve protein gibi insan gıdası olan hammaddelerin biyoplastik üretiminde kullanılması artan dünya nüfusunun ileride gıda arzındaki yetersizliği artırma ihtimali düşünülmektedir. Şeker ve mısır gibi mono kültür mahsullerinin diğer tarımsal mahsüller içinde daha fazla tarımsal faaliyetinin yapılması doğal ekosistemlere zarar verebilecektir. Verimli tarım arazi ihtiyacı tarıma elverişli olduğu tespit edilse bile Toprak Koruma Kanunua aykırı uygulamalar ile amacına yönelik kullanımını karşılanamamaktadır (Ataman, 2022).

Türkiye’nin Gıda Ambalajlarına İlişkin Güncel Yaklaşımı

İklim değişikliğine Uyum Stratejisi ve 2024-2030 Eylem Planına göre farklı disiplinleri biraraya getirerek küresel bir sorun olan ambalaj atıkları ile kirlenen çevremiz eylem planının temel konuları olarak ele alınmıştır (Anonim 2024d). Atık yönetiminin iyi yapılmaması halinde diğer etmenlerle etkileşerek çevre kirliliği uzun vadede iklim değişikliğine zemin hazırlamaktadır. Bu olumsuz küresel felaketleri yavaşlatma ve durdurmaya ilişkin olarak; başta atık yönetimi, atıkların bertaraf tesisleri ve atık parçalama stratejileri ele alınmıştır. Çevresel etkilerinin çok yönlü olduğu bilinen atıklar ve çevre kirliliğine ilişkin biyolojik çeşitliliği korumak, toprağın-suyun ve havanın temiz kalması için

sürdürülebilir çevre politikaları yönetimini sağlamak gerekmektedir. Tüm ekosistemi etkileyen canlı türleri ile bunların genetik kaynaklarını korumak gerekmektedir. Özellikle milli koruma sahalarımızda, 2873 Sayılı Koruma Kanununa tabi alanlarda etkin çevre yönetimi sağlamak gerekmektedir. Bu amaçla doğal, tarihi ve kültürel kaynak değerlerine sahip alanları tespit ederek korunan alan olarak ilan etmek, sürdürülebilir yönetimini sağlamak, biyolojik çeşitliliğin korunmasını ve devamlılığını sağlamak gibi temel sonuçları üzerinde stratejik hedefler belirlenmiştir. Katı atıklardan petrol bazlı katı atıkların azaltılması yönünde bilinçlendirme çalışmaları yapmak ve bu noktada atıklar her ne kadar azalsa da sıfırlanamayacağı bilincinden hareketle ambalaj atıklarının “biyobozunur ve yeşil polimerler” orjinlerinden üretilmesinin teşviki kapsamında ele alınması hedefi çizilmiştir. Avrupa Birliği uyum müktesabata kapsamında imzalanan Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında da yine yaban hayatı ve av yönetiminde sürdürülebilirliği sağlamak, ekosistemin ve biyoçeşitliliğin korunması anlamında ele alınmıştır.

Avrupa Komisyonunda, küresel düzeyde doğal hayatın korunmasını hedef alan, Doğa Restorasyonu Kanun Taslağı 12 Temmuz 2023'te yapılan müzakereler neticesinde yasalaşmıştır. Küresel sorumlulukları bulunan ülkemiz açısından, taraf olduğumuz uluslararası sözleşmelere göre uygunsuzlukların giderilmesi talepleri bulunmaktaydı. Gıda ve Tarım alanındaki ilgili mevzuatın amacı, doğal kaynakların tahribatının önüne geçilerek, sürdürülebilir kaynakların doğa ile uyumlu olmasının sağlanması gerekmektedir. Tüm Dünya ülkelerinin yakından takip ettiği Avrupa Birliği 2030 Biyolojik Çeşitlilik Stratejisinde Avrupa kıtasının deniz ve karalarındaki çevresel kirlilikten arı alan oranının %30 olması yönünde hedef konduğu bildirilmiştir. Canlı yaşamına gösterilen saygı çerçevesinde Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (Aichi) hedeflerinde de Dünya genelinde %17 olarak belirlenen korunan alanların oranı %30 olarak arttırılmıştır (Anonim 2024e). Türkiye’de de canlı yaşamını destekleyen, korunan alanların oranının artırılması yine Avrupa Birliği Uyum çalışma konularının içinde yer almaktadır. Buna yönelik çevreci çalışmalar ambalaj

içeriklerinin ne olduğu ve ne oranda çevreci olduğu gıda analiz tekniklerinin bir parçası olarak gıda ile temas eden madde ve malzemelerin analizleri de yine Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda Analiz Laboratuvar Müdürlükleri bünyesinde yer alan Ambalaj Analiz Laboratuvarlarında yürütülmektedir. Ambalaj numuneleri, denetim, özel istek, ithalat ve ihracat kontrolü yapmak gibi farklı amaçlarla, gıda ile temas eden plastik, cam ve kağıt esaslı ambalaj materyallerinin Türk Gıda Kodeksi Ambalaj Analizleri yönetmeliğine göre yapılmaktadır. Biyobozunurluk gibi ambalaj malzemelerinde; biyoplastik özellikler, diğer tasnifinde değerlendirilmekte ve petrol bazlı plastik ambalajlar ile aynı tebliğde değerlendirilmeye alınmaktadır.

TGK'nin Gıda ile temas eden ambalaj materyalleri ile ilgili mevzuatın hazırlanmasına katkı sağlamak amacıyla Ambalaj İhtisas Alt Komisyonu çalışmaları ambalaj analizlerini yapan bu birimlerce katılım sağlanmaktadır.

SONUÇ

Petrolde elde edilen plastikler atık oluşturmaya başladıklarında çeşitli ekolojik sorunları beraberinde getirmeleri kaçınılmaz olmaktadır. Sentetik petrol ve yan sanayi ürünleri toprağı, suyu, havayı kirletmekle birlikte oluşturdıkları sera gazı etkisi ile dünyayı bir fanus gibi çevreleyerek uzun vadede iklim değişikliğine yol açabilecek küresel bir sorun olmaktadır. Endüstriyel uygulamaların mümkün olan her aşamasına biyolojik atık odaklı üretimler ile biyobazlı malzemelerin entegre edilmesi küresel bir sorumluluk haline gelmiştir. Atık yönetimi içinde çevreye zarar vermeyen yeşil materyal üretiminde doğal biyopolimerlerin petrol türevi sentetik polimerlerin yerine uygulanabilir çözüm olabileceğı görülmektedir. Gıdanın çevresel etmenlerden korunmasının yanısıra gıdaya mikropplastik geçişi denilen migrasyona da petrol bazlı plastiklerden geçişler olduğu göz önüne alınırsa biyobozunur ambalajların gıda güvenliğinde de avantajlı özellikleri bulunduğu anlaşılmaktadır. Günümüz teknolojik araştırmaları tüketici bilincini yükseltmiş bu çerçevede de ambalajdan sağlanmak istenen fayda düzeyi de artırmıştır. Ambalaj

malzemelerine eklenen akıllı aktif bileşenler ile gıdanın yapısını bozmadan kontrollü bir şekilde gıdaların raf ömürlerini uzatan gıda ambalajları bu duruma örnek teşkil etmektedir.

Ülkemizde katı atık yönetimi yerel yönetimler ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığının işbirliği yaparak düzenlediği prosedürlerin, yönetmeliklerin uygulanması ile yapılmaktadır. Gıda ile temas eden ambalaj malzemelerinin belirlenmesi ise Türk Gıda Kodeksi Ambalaj Tebliğine uygun olarak belirlenen limit değerlerin referans alınması üzerinden sürdürülmektedir. Ambalaj malzemelerinde gereken uygunluk için tüketicinin bilinçlendirilmesi ve dahası çevresel etkilerine yönelik alınması gereken tedbirler Avrupa Birliği standartlarını yakalamak üzere düzenlenmektedir. Bu amaçla Tarım ve Orman Bakanlığının yapılanmasında yer alan birçok Daire Başkanlıklarının İklim değişikliğine Uyum Stratejisi ve 2024-2030 Eylem Planına göre Katılımcı Kurumlar listesinde yer aldığı görülebilmektedir.

Petrol bazlı ambalaj katı atıklarının Atık Yönetimi sistemlerine uyumlu olarak yok edilmesinde artan maliyetlerin yanı sıra geri toplama süreçlerin de zaman ve enerji kaybı söz konusudur. Bu amaçla doğal ortamında geride iz bırakmadan ve gıda ile toksik reaksiyon göstermeden parçalanarak ambalaj malzemeleri gelecekte daha da istenilen düzeyde ve hızla üretilerek pahalı teknolojiler olmaktan çıkıp yaygın olarak üretilmesi ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR

Agarwal, A., Shaida, B., Rastogi, M., & Singh, N. B. (2023). Food packaging materials with special reference to biopolymers-properties and applications. *Chemistry Africa*, 6(1), 117-144.

Akkemik, Y., & Güner, A. (2020). Gıda Ambalaj Sistemlerinde Yeni Yaklaşımlar: Akıllı Ambalaj Sistemleri, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1): Pp. 9-22.

Al-Naamani, L., Dobretsov, S., & Dutta, J. (2016). Chitosan-zinc oxide nanoparticle composite coating for active food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 231- 237.

Anonim (2024a). Biyoplastik Gerçekten Biyobozunur mu? (22.05.2024 tarihinde <https://surdur.com/blog/biyoplastik-gercekten-biyobozunur-mu> adresinden ulaşılmıştır).

Anonim (2024b). Avrupa'da biyobozunur plastikler ve döngüsel ekonomi. (22.05.2024 tarihinde <https://www.european-bioplastics.org/biodegradable-plastics-and-the-circular-economy-in-europe>. adresinden ulaşılmıştır).

Anonim (2024c). (27.05.2024 tarihinde <https://sozluk.gov.tr/?ara.Sürdürülebilirlik>. adresinden ulaşılmıştır).

Anonim (2024d). İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), (02.05.2024 tarihinde <https://www.iklim.gov.tr/2024-2030-iklim-degisikligi-azaltim-ve-uyum-strateji-ve-eylem-planlari-yayinlandi-haber-4239> adresinden ulaşılmıştır).

Anonim (2024e). Policy Document. EU Biodiversity Strategy for 2030. (01.05.2024 tarihinde

https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm. adresinden ulaşılmıştır).

Armentano, I., Bitinis, N., Fortunati, E., Mattioli, S., Rescignano, N., Verdejo, R., Lopez-Manchado, M. A., & Kenny, J. M. (2013). Multifunctional nanostructured PLA materials for packaging and tissue engineering. *Progress in Polymer Science*, 38, 1720-1747.

Atalay, D., Türken, T., & Erge, H. S. (2018). Pektin; Kaynakları ve Ekstraksiyon Yöntemleri. *Gıda Dergisi*, 43(6), 1002-1018.

Ataman, N. (2022). *Biyoplastik ve Sürdürülebilirliği*. (03.04.2024 tarihinde <https://ecoware.com.tr/biyoplastik-ve-surdurulebilirligi-8> adresinden ulaşılmıştır).

Aydın E., Karacabey E., Küçüköner E., & Özkan G. (2023). “Ohmik Isıtma Tekniğinin Gıda Teknolojisi İçerisindeki Yeri ve Geleceğı”. Baltacıoğlu C. (Ed.). *Gıda İşleme ve Üretiminde Yenilikçi Teknolojiler* içinde (s. 1-41). Akademisyen Kitabevi.

Başaran N. (2010). *Uluslararası Kalite Yönetimi Bilim Dalı Kalite İyileştirmede İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi ve Gıda Sektöründe Bir Uygulama* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul: Marmara Üniversitesi, s.76.

Bersani, M.,(2024). Biyobozunur Plastiklerin Dünü, Bugünü ve Geleceğı: Yenilikçi Uygulamalar, (Ed. Yasemin Ö., Ülkü S.), *Yeşil Bir Gelecek İçin Biyobozunur Plastikler* içinde (pp. 317-329). Duvar Yayınevi

Bie, P., Liu, P., Yu, L., Li, X., Chen, L., & Xie, F. (2013). The properties of antimicrobial films derived from poly (lactic

acid)/starch/chitosan blended matrix. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 959-966.

Caferoğlu, M. (2021). “Yenilikçi Ve Sürdürülebilir Yaklaşımla Biyoplastik Malzemelerin Ambalaj Tasarımında Kullanımı ”, *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 7(46):2305-2319.

Chong JWR, Tan X, Khoo KS, Ng HS, Jonglertjunya W, Yew GY, & Show PL (2021) Microalgae-based bioplastics: future solution towards mitigation of plastic wastes. *Environ Rres.*, 840-855.

Denavi, G.A., Pérez-Mateos, M., Añón, M.C., Montero, P., Mauri, A.N., & Gomez-Guillen, M.C. (2009). Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2094-2101.

Dursun, S., Erkan, N., & Yesiltas, M. (2010). Doğal biyopolimer bazli (biyobozunur) nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki uygulamalari. *Journal of FisheriesSciences*, 4(1), 50-60.

Gupta, P., & Nayak, K.K. (2015). Characteristics of protein-based biopolymer and its application. *Polymer Engineering and Science*, 55(3), 485-498.

Härdelin, L., Bernin, D., Börjesson, M., Ström, A., & Larsson, A. (2020). Altered thermal and mechanical properties of spruce galactoglucomannan films modified with an etherification reaction. *Biomacromolecules*, 21 (5), 1832–1840.

Hu, Z., Hong, P., Liao, M., Kong, S., Huang, N., Ou, C., & Li, S. (2016). Preparation and characterization of chitosan-agarose composite films. *Materials*, 9(10), 816-822.

IUCN. (2024). A Report by the *ENACT Partnership – Enhancing Naturebased Solutions for Accelerated Climate Transformation*, *State of ENACT NbS Goals Report: Year One Roadmap*, https://www.iucn.org/sites/default/files/2024-03/iucn_state-of-enact-nbs-goals-report.pdf

Jafarzadeh S, Jafari S.M., Salehabadi A, Nafchi A.M., Seeta Uthaya Kumar U, & Abdul Khalil H. P. S. (2020) Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. *Trends in Food Science Technology*, 100:262–277. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017>.

Jiménez, A., Fabra, M.J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and biodegradable starch films: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (6), 2058-2076.

Karakuş, E., Kibar Balballı, E., Ara, İ., & Ayhan, Z. (2021). Polisakkarit ve Protein Bazlı Aktif Biyokompozit Malzemelerin Gıda Ambalajlama Açısından Değerlendirilmesi. *Akademik Gıda*, 19 (1), 74-88. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.927700>

Kaya, Z.G. (2019). *Ultrases ön işlemlle sıcak hava ve mikrodalga sistemlerinde kurutulan elma dilimlerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.

Kılınç, M., Tomar, O., & Çağlar, A. (2017). Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 988-996.

Köker, H.S. (2021). *Pe-Sodyum Kazeinat ve Pe-Kitosan Karışımlarından Biyobozunur Film Eldesi Ve Değişik Plastikleştirici ve Uyumlaştırıcıların Etkisinin İncelenmesi*. (Yayımlanmış Doktora Tezi), Ankara: Hacettepe Üniversitesi, (8-210)

Köse A., M., (2024). *Gıda Ambalaj Tasarımında Sürdürülebilirlik ve Artırılmış Gerçeklik Kullanımı*, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: Işık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Görsel İletişim Tasarımı Programı.

Looplife N. C., (2016). *Biomass and biodegradable of Visual Life Cercus* (02.06.2024 tarihinde <http://www.looplife-polymers.eu/drupal/bio> adresinden ulaşılmıştır).

Martínez-Camacho, A. P., Cortez-Rocha, M. O., Graciano-Verdugo, A. Z., Rodríguez-Félix, F., Castillo-Ortega, M. M., Burgos-Hernández, A., Ezquerro-Brauer, J. M., & Plascencia-Jatomea, M. (2013). Extruded films of blended chitosan, low density polyethylene and ethylene acrylic acid. *Carbohydrate Polymers*, 91, 666–674.

Mercan, N., & Beyatlı, Y. (2004). Bakteriye biyoplastikler ve kullanım potansiyelleri. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 02 (04), 2-18.

Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., & AbdulGhani, A. (2022). Biodegradable plastic

applications towards sustainability: A recent innovations in the green product. *Cleaner Engineering and Technology*, 6-10.

Ojha, A., Sharma, A., Sihag, M., & Ojha, S. (2015). Food Packaging–Materials And Sustainability. *Agricultural Review*, 36 (3), 241-245.

Rao, M. G., Bharathi, P., & Akila, R. M. (2014). A comprehensive review on biopolymers. *Sci. Revs. Chem. Commun*, 4, 61-68.

Rhim, J., & Ng, P. K. W. (2007). Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 411–433.

Singh, A. V. (2011). Biopolymers in drug delivery: A review. Newsletter, Editör: Akhilesh V Singh *Pharmacologyonline*, 1, 666-674.

Thakur, S., Chaudhary, J., Kumar, V., & Thakur, V.K. (2019). Progress in pectin based hydrogels for water purification: Trends and challenges. *Journal of Environmental Management*, 238, 210-223.

Van den Oever, M., Molenveld, K., van der Zee, M., & Bos, H. (2017). Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures: Focus on food packaging in the Netherlands (Wageningen Food & Biobased Research Report No. 1722).

Yaradoddi, J. S., Banapurmath, N. R., Ganachari, S. V., Soudagar, M. E. M., Mubarak, N. M., Hallad, S., et al. (2020). Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Scientific Reports*, 10 (1), 1–13.

Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., Zhao, Y., Su, H., & Tan, T. (2017). Preparation of chitosan-TiO₂ composite film with efficient antimicrobial activities under visible light for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 169, 101-107.